

# Glavni projekt zaštite građevne jame stambeno-poslovnog objekta na predjelu Trstenik - Radoševac u Splitu

---

Radovčić, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:002135>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Mario Radovčić**

**Split, 2022.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Mario Radovčić**

**Glavni projekt zaštite građevne jame stambeno-  
poslovnog objekta na predjelu Trstenik-Radoševac u  
Splitu**

**Diplomski rad**

**Split, 2022.**

# **Glavni projekt zaštite građevne jame stambeno-poslovnog objekta na predjelu Trstenik-Radoševac u Splitu**

## ***Sažetak:***

Za zadane istražne radove i arhitektonski projekt predmetnog objekta napravljen je projekt građevne jame. Za pokose koji se ne mogu izvesti u stabilnom nagibu zbog prostornih ograničenja ili drugih razloga, projektirana je odgovarajuća stabilizacija. Izrađene su dvije varijante istočnog dijela građevne jame ovisno o prostoru koji je dostupan za izvođenje.

## ***Ključne riječi:***

Građevna jama, geotehnička sidra, prskani beton, stabilnost kosine

# **The main project for the protection of the foundation pit of a residential and commercial building in the area of Trsenik-Radoševac in Split**

## ***Abstract:***

Construction pit project is created for the given investigation works and the architectural project of the object in the question. For cuts that cannot be made at a stable slope due to space or other reasons, appropriate stabilization is made. Two types of solutions are presented for east side of the pit depending on the available space for construction.

## ***Keywords:***

Foundation pit, geotechnical anchors, shotcrete, slope stability

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT: Mario Radovčić**

**MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083218109**

**KATEDRA: Katedra za geotehniku**

**PREDMET: Mehanika stijena**

### **ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Glavni projekt zaštite građevne jame stambeno-poslovnog objekta na predjelu Trstenik-Radoševac u Splitu

Opis zadatka: Svojstva slojeva tla na lokaciji su određena istražnim radovima prikazanim u geotehničkom elaboratu izrađenim za predmetnu lokaciju. Dubina temeljenja i tlocrtni položaj objekta određeni su arhitektonskim idejnim projektom predmetnog objekta. Za tako definirane uvjete, potrebno je odabrati odgovarajuće stabilne nagibe pokosa građevne jame, ukoliko zona obuhvata (rub parcele) to dozvoljava. Na djelovima gdje su potrebni strmiji nagibi pokosa jame, potrebno je odabrati i dimenzionirati zaštitnu konstrukciju za stabilizaciju pokosa građevne jame, te izraditi glavni projekt zaštite građevne jame.

Prilozi:

- Geotehnički elaborat za zadanu lokaciju.
- Idejni arhitektonski projekt predmetnog objekta.

U Splitu, 28. veljače 2022.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Goran Vlastelica

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:

Izv. prof. dr. sc. Ivo Andrić

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>2</b>
<b>2. GRAĐEVNE JAME</b> .....	<b>3</b>
2.1 Zaštita građevnih jama u uvjetima neograničenog prostora i bez pojave podzemene vode .5	
2.2 Zaštita građevnih jama u uvjetima ograničenog prostora i uvjetima podzemne vode.....	8
2.3 Zaštita građevnih jama od oborinske i podzemne vode .....	11
<b>3. SINTEZA GEOTEHNIČKIH ISTRAŽNIH RADOVA</b> .....	<b>13</b>
3.1 Terenski istražni radovi.....	13
3.2 Laboratorijska ispitivanja .....	13
3.3 Inženjersko-geološka svojstva terena .....	14
<b>4. TEHNIČKI OPIS</b> .....	<b>16</b>
4.1 Opis tehničkog rješenja građevne jame.....	16
4.2 Zaštita od oborinske i podzemne vode .....	19
4.3 Zemljani radovi .....	20
4.4 Zaštita pokosa.....	22
<b>5. GEOTEHNIČKI PRORAČUN STABILNOSTI POKOSA GRAĐEVNE JAME</b> .....	<b>25</b>
5.1 Definiranje parametara čvrstoće stijenske mase u zoni geotehničke sredine 1 (GS1).....	26
5.2 Definiranje parametara čvrstoće u zoni geotehničke sredine 2 (GS2).....	29
5.3 Definiranje projektnih opterećenja i prikaz projektnih parametara kosine .....	30
5.4 Proračun sidra.....	32
5.5 Analiza stabilnosti – presjek 1-1 .....	34
5.6 Analiza stabilnosti – presjek 2-2 (zapad) .....	37
5.7 Analiza stabilnosti – presjek 2-2 (istok-prva varijanta) .....	40
5.8 Analiza stabilnosti – presjek 2-2 (istok-druga varijanta) .....	43
5.9 Analiza stabilnosti – presjek 3-3 (zapad) .....	47
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>50</b>
<b>7. TROŠKOVNIK RADOVA</b> .....	<b>51</b>
<b>8. GRAFIČKI PRILOZI</b> .....	<b>54</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>55</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH NORMI</b> .....	<b>56</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>57</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>58</b>

## 1. UVOD

U ovom radu se prikazuje način rješavanja izvedbe građevne jame za objekt turističko-poslovne namjene na temelju zadanih parametara tla definiranim izvještajem o geotehničkim istražnim radovima i pripadajućeg arhitektonskog projekta. Objekt se nalazi na predjelu Trstenik-Radoševac u Splitu, k.č.z. 10047/1 i 10047/2 k.o. Split. Prema idejnom projektu za građevinu je predviđena armirano-betonska nosiva konstrukcija koja se temelji na temeljnoj ploči. Predmetni objekt je tlocrtna površine približno 25,5 x 30 m, a sastoji se od podruma, suterena, prizemlja i tri kata. Građevna jama se izvodi u stabilnom pokosu na mjestima gdje nema ograničenja prostora. Na istočnoj strani jame su predložene dvije varijante izvedbe ovisno o dostupnom prostoru.

Prvi dio rada govori općenito o tipovima i vrstama građevnih jama ovisno o uvjetima izvedbe u neograničenom prostoru i ograničenom prostoru uz prisustvo podzemne vode, te zaštiti građevnih jama od oborinske i podzemne vode.

Drugi dio rada se sastoji od sinteze istražnih geotehničkih na temelju kojih se opisuje stanje na lokaciji i definiraju parametri tla prema Morh-Coulombovu kriteriju za nasipni materijal, te za stijensku masu pomoću Hoek-Brownovog kriterija koji se može aproksimirati Morh-Coulombovim kriterijom. Za tako dobivene parametre se pristupa analizi stabilnosti pokosa za sve strane građevne jame. Za faktore sigurnosti koji ne zadovoljavaju, izvedena je potrebna stabilizacija pokosa. Detalji izvedbe, iskopa i zaštite pokosa dani su tehničkim opisom.

Na kraju rada se komentiraju dobiveni rezultati analize stabilnosti pokosa građevne jame, te prilaže troškovnik radova i grafički prilozi tlocrta i presjeka građevne jame.

## 2. GRAĐEVNE JAME

Građevne jame su privremene građevine unutar kojih se izvodi temeljenje budućeg objekta. Jedan od glavnih zahtjeva građevnih jama je da prostor unutar i van jame treba biti siguran i dostupan strojevima i ljudima na gradilištu. Sama vrsta i način osiguravanja stabilnosti i zaštite građevne jame ovisi o nizu uvjeta na samom gradilištu, a osnovne vrste zaštite jama može se prikazati pomoću tablice 1, koja ovisno o tri uvjeta uvjeta određuje tip zaštite. Tablica prikazuje samo neke od najučestalijih načina zaštite građevne jame, te nisu prikazane sve mogućnosti zaštite. [1]

Tablica 1. Uvjeti rada i metode izvođenja građevnih jama [12]

Položaj vode	Vrsta tla	Uvjeti rada		Način odvodnje
		neograničeni	ograničeni	
razina vode ispod temeljne plohe	koherentno	iskop bez ograničenja	uspravne stijenke iskopa	crpljenje kišnice iz jame
	bilo koje	iskop s privremeno stabilnim pokosom ( $F_s=1,2$ )	podupore*	crpljenje kišnice iz jame
plitko ispod površine tla	koherentni i šljunak	iskop s privremeno stabilnim pokosom uz moguće strujanje niz kosinu	podupore*	crpljenje kišnice i procjedne vode iz jame
	pijesak	iskop s privremeno stabilnim pokosom ( $F_s=1,2$ )	podupore*	crpljenje iz bunara u ili oko jame
			podupore* koje sprječava hidraulički slom tla	crpljenje iz jame
			podupore* uz iskop pod vodom	
			smrzavanje	
iznad površine tla	tlo bez samaca	zagati, otoci, bunari, kesoni	plivajući sanduci, bunari, kesoni, zagati s ispunom	iz jame između zagata
	tlo sa samcima i stijena	zagati, plivajući sanduci	čelijasti zagati	iz jame između zagata

\*podrazumijeva se bilo koja vrsta podgrade i/ili zagatne stijenke

Građevne jame ili dijelovi jame mogu biti osim privremenih biti i trajni dio budućih



građevina koje su štitile tijekom izvođenja građevina, primjer toga su armirano-betonske dijafragme prikazane na slici 1, koje nakon izgradnje uvijek ostaju trajni dio građevine.



Slika 1. Građevna jama zaštićena usidrenom dijafragmom [13]

Građevne jame se općenito mogu podijeliti na dvije skupine, u prvu skupinu kada je dostupan prostor za ostvarivanje stabilnog nagiba pokosa i bez pojave podzemne vode. U drugu skupinu spadaju jame u uvjetima ograničenog prostora i u uvjetima podzemne vode gdje su potrebni složeniji geotehnički zahvati za osigranje stabilnosti i ograničenje prodiranja vode.

Ovisno o uvjetima na gradilištu kao što su dubina iskopa, ograničeni prostor, susjedne građevine, vrsta tla i pojava podzemne vode, određuje se tip zaštite građevine jame, uz preklapanje više nepovoljnih uvjeta jama postaje kompleksna geotehnička građevina koja, zahtjeva cijeli zasebni projekt. Uobičajeno se projekt građevne jame sastoji od dva temeljna dijela:

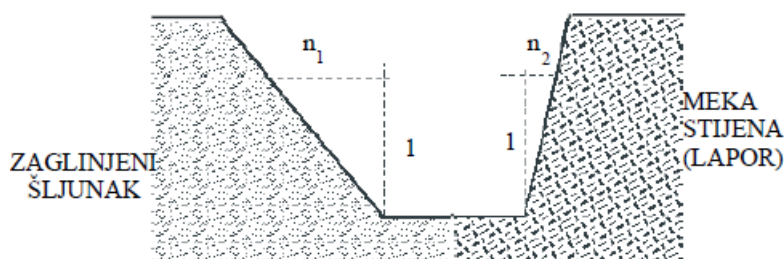
1. Proračun stabilnosti građevne jame
2. Zaštita od vode (oborinske, procjedne, vlastite...)

## 2.1 Zaštita građevnih jama u uvjetima neograničenog prostora i bez pojave podzemene vode

U uvjetima slobodnog prostora nagib pokosa građevne jame može se dobiti iz literature na način da se ovisno o vrsti i parametrima tla iz raznih iskustvenih tablica očita nagib stabilnog pokosa. Jedna od jednostavnijih tablica je prema Weissebach-u gdje se prema DIN 4124 navodi kut nagiba pokosa za četiri osnovna tipa tla. [1]

Tablica 2. Kutevi nagiba pokosa prema DIN 4124

Vrsta tla	Kut nagiba pokosa $\beta$ [°]	Pokos 1/n
Nevezano i vrlo slabo vezano tlo	45	1:1
Čvrsto i polučvrsto koherentno tlo	60	1:0,58
Meka stijena	80	1 : 0,18
Čvrsta stijena	90	uspravno



Slika 2. Kutevi nagiba pokosa za dvije vrste različitog tla [2]

Još jedan od načina određivanja nagiba pokosa je pomoću dijagrama stabilnosti za procjenu stabilnog nagiba. Da bih se dijagrami mogli koristiti potrebno je poznavati parametre čvrstoće na smicanje tla, koheziju  $c_k$  i kut unutarnjeg trenja  $\varphi_k$ . Pri proračunu je potrebno faktorizirati karakteristične vrijednosti parametra parcijalnim koeficijentima prema EC-7 i na taj način dobiti proračunske vrijednosti kao u izrazu:

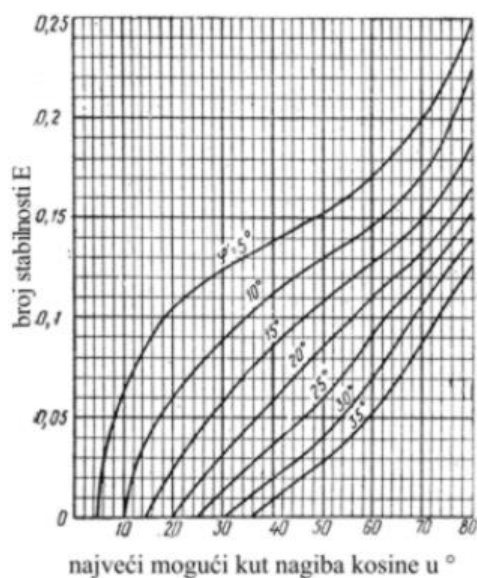
$$\varphi_d = \arctg\left(\frac{tg\varphi_k}{\gamma_{\varphi'}}\right); c_d = \frac{c'_k}{\gamma_c}$$

S tako odabranim parametrima  $\varphi_d$  i  $c_d$  izračunava se broj stabilnosti E prema izrazu:

$$E = \frac{c_d}{(\rho \cdot g) \cdot H}$$

U gornjem izrazu E predstavlja broj stabilnosti,  $c_d$  proračunsku koheziju, H visinu nasipa i  $(\rho \cdot g)$  predstavlja prostornu težinu gradiva.

Kut trenja  $\varphi_d$  je predstavljen familijom krivulja na dijagramu kao što je prikazano na slici 3, a na osi apscisa su navedene vrijednosti broja stabilnosti. Za pripadajući broj stabilnosti i pripadajuću krivulju kuta trenja, na ordinati se očitava najveći mogući kut nagiba kosine u stupnjima. U slučaju dodatnog opterećenja od ruba kosine može se koristiti isti dijagram, uz uvjet da dodatno opterećenje nije veće od graničnog i popravak računске visine. Također postoji i popravak visine za slučaj kosine koja ima nagnuto zaleđe ( ne više od  $10^\circ$ ). [2]



Slika 3. Dijagram za određivanje nagiba kosine pomoću broja stabilnosti [2]

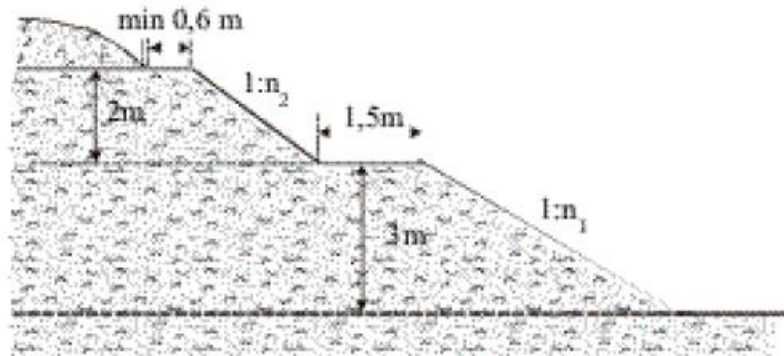
Za kosine koje se nalaze u stijenskim masama postoju posebni dijagrami u ovisnosti o visini kosine  $H$ , jednoosne čvrstoće monlita  $\sigma_{ci}$  (izražene preko broja stabilnosti  $N = \sigma_{ci}/\gamma \cdot H$ ) i geološkog indeksa čvrstoće (GSI) koji se dobije bodovanjem stanja stijenske mase i podataka geoloških istražnih radova. [2]

U situaciji kad se na pokosu izmjenjuje više vrsta tla koja imaju različita svojstva, pokos može imati više promjenjivih nagiba kao na slici 4 lijevo. Također je moguće i stabilnost pokosa u homogenom tlu osigurati promjenjivim nagibom po visini kao na slici 4 desno.



Slika 4. Kosine promjenjivih nagiba kroz različita tla i homogena kosina promjenjivog nagiba [1]

Kod kosina koje imaju veću visinu, izvodu se berme koje služe kao prekidi nagiba kosine. Berma smanjuje nagib ukupne visine kosine i često služi kao prolaz mehanizaciji između dna jame i terena van jame. Kod izvođenja bermi treba obratiti pažnju na to da berma mora biti najmanje 1,5 m širine da bih djelovala kao prekid kosine. U tom slučaju se pokosi određuju za visinu od dna iskopa do berme, i u slučaju više prekida od berme do berme. Također, bilo koji iskopani materijal mora biti odmaknut od ruba berme za barem 0,6 m, kako ne bih služio kao dodatni teret na kosini. Berma s navedenim pravilima je prikazana na slici 5. [2]



Slika 5. Korištenje berme kod iskopa većih visina [2]

## 2.2 Zaštita građevnih jamu u uvjetima ograničenog prostora i uvjetima podzemne vode

Tipovi zaštita ovise o uvjetima dostupnog prostora i razini podzemne vode. Za uvjete dubokog iskopa, gdje je potrebna promjena visine u ograničenom prostoru i postoji pristup podzemne vode, koriste se zagatne stijenke. To su tankostijene građevine koje su zabijene ili izvedene u tlu, mogu biti trajne ili privremene građevine. Lice zagatne stijenke je uvijek uspravno. Postoji niz vrsta stijenki ovisno o tipu zahtjeva koji se traži, jedna od učestalijih stijenki koji se koristi, posebno u uvjetima pjeskovitog i glinenog tla je čelično žmurje prikazano na slici 6, koje se zabija u tlo. [1]



Slika 6. Zaštita iskopa građevne jame čeličnim žmurjem [1]

Ako tlo nije pogodno i postoju veći komadi kamena ili kameni samci, koristi se armiranobetonska dijafragma. Izvedba se sastoji od iskopa, ugradnje armature, ugradnje ispune i završne obrade. Iskop se vrši grabilicom, a duljine pojedinih dijelova dijafragme potrebno je prilagoditi tehnologiji iskopa i tehnologiji ugradnje ispune i armature. Ugradnja armature se javlja kod nosivih zagatnih stijenki i ugrađuje se dizalicom. Armatura se dijeli na glavnu koja se armira u obe zone dijafragme da ne bih došlo do zabune koja je strana vlačna, a koja je tlačna i konstruktivne ovisno o proračunu. Također svaka dijafragma i ima ukrutu koja je horizontalna armatura većeg promjera na koju se vari glavna armatura. Uobičajeno se postavlja svaka 3 m visine. Preporučuje se izvedba nešto debljeg zaštitnog sloja u debljini od 10 cm. Ugradnja ispune u slučaju betona i glinene ispune izvodi se kontraktor postupkom, pri ugradnji ispune isplaka se

gura na površinu, zbog čega se javlja gornji sloj lošije kvalitete. To je potrebno uzeti u obzir i napraviti nešto veću visinu te završnom obradom je skratiti na projektnu vrijednost. Primjer armiranobetonske dijafragme je prikazan na slici 7. Često je potrebno dijelove armiranobetonske dijafragme pridržati naglavnom gredom i sidrima.[1]



Slika 7. Armiranobetonska dijafragma s veznom gredom i sidrima [1]

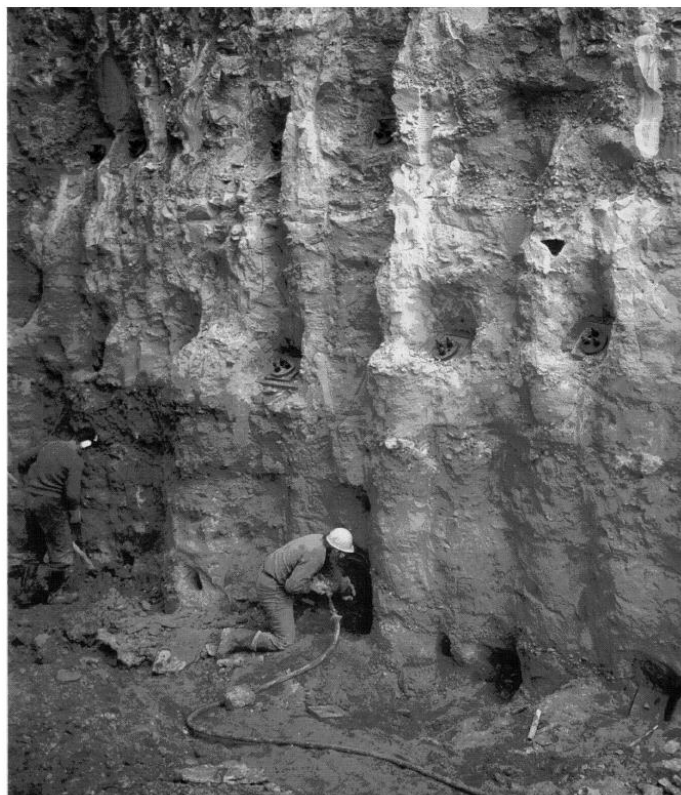
Tehnologija pilot do pilota se koristi kada iz nekog razloga nije moguća izvedba iskopa dijafragme. Izvode se u raznim redoslijedima i rasporedima. Metoda pilot do pilota je prikazana na slici 8. Ukoliko stijenka ne treba biti vodnepropusna, izvode se piloti na razmaku i pilot do pilota. Ako stijenka mora ispunjavati uvjet vodonepropusnosti, tada je potrebno napraviti višerednu zavjesu od pilota ili se piloti međusobno zasjecaju. U pilote se može ugrađivati armatura, ali u tom slučaju je potrebno izvesti armaturu na način da ne smeta zasjecanju ako je potrebno. Često se povezuju naglavnim gredima i sidrima. [1]



Slika 8. Otkopana stijenka izvedena metodom pilot do pilota s gredama i sidrima [1]

Tehnologija mlaznog injektiranja prvenstveno je namijenjena poboljšanju svojstava tla, ali se može koristiti za izradu zagatnih stjenki. Metoda se sastoji od mlaznog injektiranja vode pod visokim pritiskom koja razara strukturu tla, potom se tlo miješa s vezivnim sredstvom. Pri procesu nastaju obla tijela slična slična betonskim stupovima, kojima se agregat sastoji od tla. Mogu biti armirani. Često se koristi kao dopuna ostalim tehnologijama, kao dodatno povezivanje ili za popravak i brtvljenje drugih geotehničkih građevina kao što su armiranobetonske dijafragme. [1]

Sidra se mogu koristiti samostalno ili kao nosivi dijelovi drugih potpornih građevina. Samostalna sidra bez površinske zaštite se koriste samo u slučaju stijenske mase. U svim drugim slučajevima površina se štiti prskanim betonom, armiranobetonskim pločama, uzdužnim i poprečnim nosačima ili kombinacijom više rješenja. Sidra se mogu opisati kao linijske građevine koje preuzimaju pritiske sa površine i labilnih dijelova pokosa u dublje stabilne slojeve tla. Sidra su vlačni elementi koji se koriste za unošenje ili preuzimanje vlačnih naprezanja u tlu. Sidrenim građevinama se nazivaju sve one građevine kod kojih su sidra ključni nosivi dijelovi. Sidrene građevine prenose opterećenje u tlo i ne trebaju temelje, iz toga proizlazi jedna od najvećih prednosti sidara, mogu se izvoditi obrnutim redoslijedom od gore prema dolje što je ključno za određene situacije. [1]

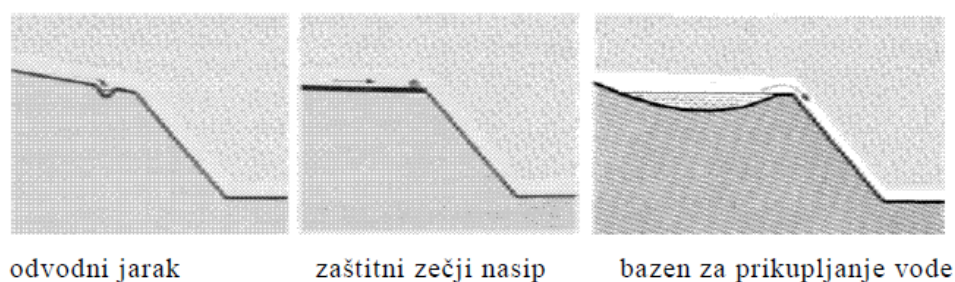


Slika 9. Stijenka mlaznoinjektiranih stupnjaka pojačana sidrima (Zakladani staveb, 1999.)

## 2.3 Zaštita građevnih jama od oborinske i podzemne vode

Sve građevne jame potrebno je zaštititi od oborinske vode koju dijelimo na vanjsku i vlastitu oborinsku vodu. Pri rješavanju problema odvodnje u obzir treba uzeti niz okolnosti na terenu kao što su konfiguracija terena, režim kiša, godišnje doba i slično.

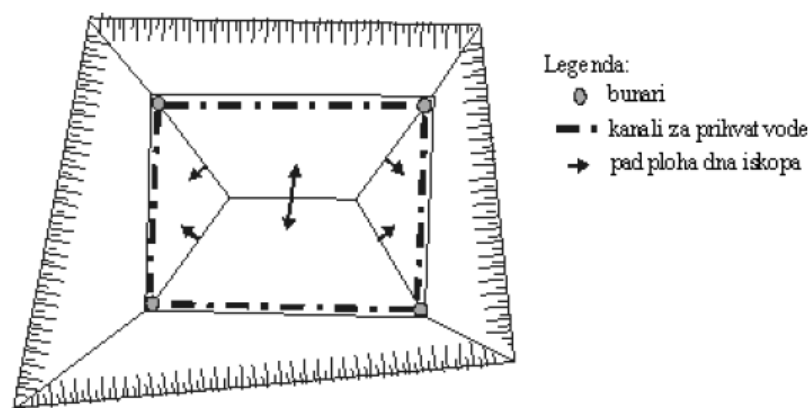
Zaštita od vanjske oborinske vode osigurava tako da se spriječi dotok vanjske vode u jamu. Najčešće se koriste rješenja pomoću odvodnih jaraka, kanala i bazena, koji su postavljeni uz rubove građevne jame. Navedeni načini zaštite su prikazani na slici 10. Tako prikupljena vode se preusmjerava u prirodni recepijent ili kanalizaciju ako je dostupna. [1]



Slika 10. Načini zaštite od vanjske oborinske vode [1]

Još jedan od načina zaštite od vanjske oborinske vode su saćasti blokovi koji se ugrađuju u rov oko građevne jame, blokovi imaju ulogu retencijskog prostora kod iznimnih oborina. Kod slučaja slabo propusnog tla, blokovi se ugrađuju se iznad drenažnih cijevi, a kod dobro propusnog tla nije potrebna drenažna cijev.

U slučaju oborinske vode koja pada u jamu, po rubovima dna građevne jame izvede se kanali za prihvatanje vode koji su u padu. Dno jame je također izvedeno u padu na način da ima pad prema obodnim kanalima kao što je prikazano na slici 11. Na najnižim točkama jame se postavljaju bunari za prihvatanje vode, iz kojih se voda pomoću crpke crpi van jame prema prirodnom recepijentu ili kanalizaciji. [1]



Slika 11. Prikaz zaštite građevne jame od vlastite oborinske vode [1]



Potrebno je osigurati da voda iz sabirnih jaraka i drenova također ima pravilni pad prema mjestu iz kojih se voda crpi. Crpljenje se može odvijati stalno ili privremeno ovisno o veličini dotoka, veličini površine koja se odvodnjava, osjetljivosti radova na vodu i vrsti tla.

Za zaštitu jame od podzemne vode koriste se rješenja slična kao kod vlastite oborinske vode. Treba obratiti pozornost na osiguravanje jame od hidrauličkog sloma na virnoj plohi. Kod viših razina podzemne vode i većeg dotoka nastoji se sniziti razina podzemne vode izvan prostora građevne jame, pomoću vodoravnih drenaža, uspravnih drenaža i kombinacijom više rješenja. [1]

### 3. SINTEZA GEOTEHNIČKIH ISTRAŽNIH RADOVA

#### 3.1 Terenski istražni radovi

Na mjestu lokacije građevinskog zahvata su provedeni terenski istražni radovi iz svrhe utvrđivanja osnovnih podataka o tlu kao što su raspored slojeva, debljina slojeva, te svojstva tla i stijene. Za uvid u slojeve tla izvršen je iskop i pregled 5 istražnih jama označenih IJ-1 do IJ5, te pregled šire okolice mjesta izvođenja. Lokacija istražnih jama je naznačena na situaciji uz položaj presjeka geotehničkih profila. Uz iskop jama i pregled lokacije uzeti su i uzorci za potrebe laboratorijskih ispitivanja. Sami iskop istražnih jama je vršen do pojave matične flišne stijene.

Svi podaci o slojevima iz svih istražnih su dali jednake rezultate koji su dovoljni za rješenje geotehničkih zadataka. Dodatni istražni radovi kao što su bušenje s jezgrovanjem u ovom sličaju nisu potrebni, jer ne bih dovela do novih značajnih spoznaja o geološkim karakteristikama lokacije.

#### 3.2 Laboratorijska ispitivanja

Za potrebe identifikacije i klasifikacije stijenskog materijala na mjestima istražnih jama su prikupljeni uzorci stijenske mase. Prikupljeno je pet uzoraka za potrebe ispitivanja, po jedan uzorak na svaku jamu. Prema normi HRN U.B1.026:1968 ( određivanje sadržaja karbonata u tlu) rezultati su u granicama:

Sadržaj  $\text{CaCO}_3 = 52,84 - 58,24 \%$

Prema važećoj podjeli karbonatnih stijena (tablica 3.) uzorci spadaju u :

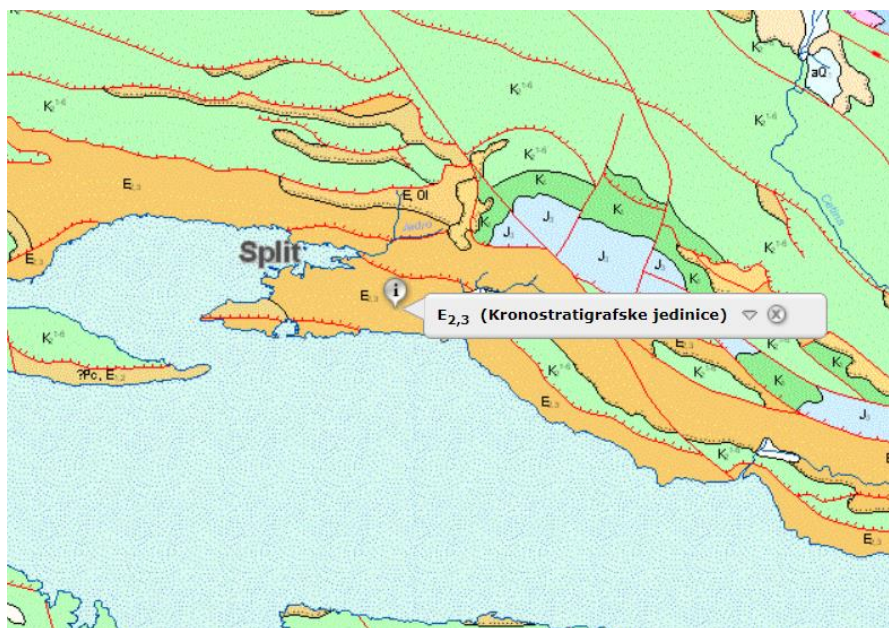
Lapori (25 – 65 %  $\text{CaCO}_3$ )

Tablica 3. Razradba karbonatnih stijena prema EN 12407:2007 [3]

CaCO <sub>3</sub> (%)							
100	95	85	65	25	15	5	0
Vapnenac	Laporoviti vapnenac	Vapnenački lapor	Lapor	Glinoviti lapor	laporovita glina	Glina	
0	5	15	35	75	85	95	100
Nekarbonatna komponenta (%)							

### 3.3 Inženjersko-geološka svojstva terena

Iz osnovne geološke karte Hrvatske za područje Splita (slika 12 u nastavku teksta) stijene na lokaciji grade naslage oceanskog fliša ( $E_{2,3}$ ). [4] Pregledom istražnih jama potvrđena je pojava matične flišne stijene. Pregledom površine terena te slojeva istražne jame utvrđena su tri sloja, prvi sloj tvorili nasuti materijali (N) na površini terena, drugi sloj čine eluvijalne naslage ( $Q_{el}$ ), a treći sloj matična flišna stijena ( $E_{2,3}$ ).



Slika 12. Osnovna geološka karta hrvatske za šire područje Splita [5]

Značajke slojeva su:

#### 1. Nasuti materijal (N)

Na samoj površini lokacije pojavljuje se sloj nasipa prašinate gline smeđe boje, srednje plastičnosti i s manjim udjelom sitnog šljunka. Nasip je nastao rastrošbom materijala naslaga fliša, a dijelom je materijal nanesen zbog izrade vrtova. Sloj je onečišćen organskim tvarima (korijenje, lišće...), te je slabe zbijenosti. Sama debljina sloja varira od najmanje vrijednosti iznosa 0,5 m (IJ-2), do najveće vrijednosti iznosa 1,2 m (IJ-4). [6]

#### 2. Eluvij ( $Q_{el}$ )

Ispod sloja nasutog materijala, a iznad sloja temeljne stijene nalazi se sloj dobro zbijene laporovite gline i praha. Sloj je srednje plastičnosti, svijetlo žute i smeđe boje do sive boje (eluvij), te su u sloju prisutni i tragovi kalcitnog praha. Pri dnu zone na pojedenim mjestima sloj prelazi iz laporovite gline u glinene lapore [7]. Sloj je nastao rastrošbom matične stijene

lapora, te kao takav ima određenu poroznost i slabu vodopropusnost. Debljina sloja varira od najmanje debljine iznosa 0,3 m (IJ-5), te najveće debljine sloja u iznosu od 1,3m (IJ-4). [6]

### 3. Fliš ( $E_{2,3}$ )

Matičnu stijenu u gornjem pojasu čine glinoviti lapori i lapori, te s povećanjem dubine i povećanjem udjela  $\text{CaCO}_3$  počinju se pojavljivati vapnenački lapori, kojima debljina varira ovisno o mjestu istražne jame. U pojedinim slojevima postoju tragovi kalcita, te drugi slojevi karakteristični za pojavu flišnih sedimentnih naslaga kao što je pješčenjak. Sama boja slojeva varira između žute, smeđe i sive boje.

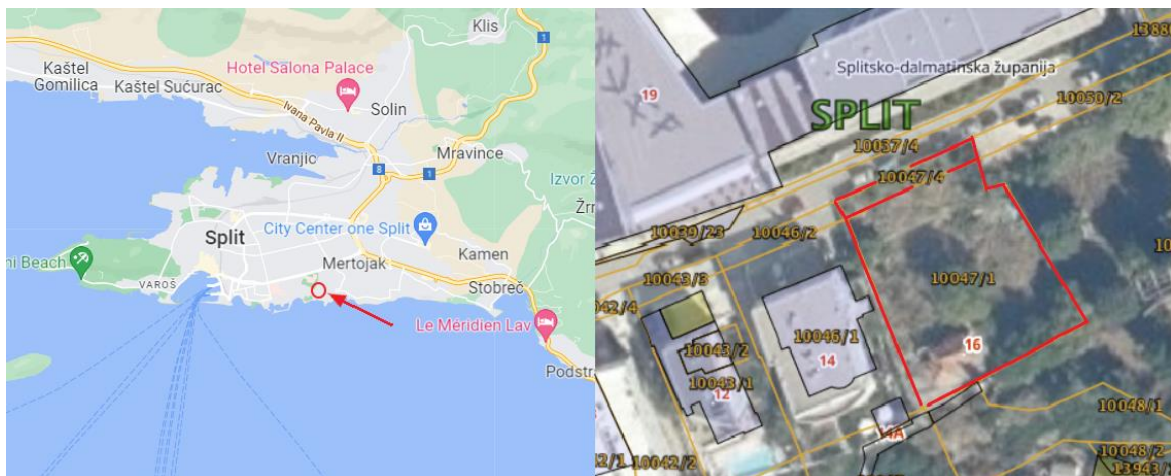
Sloj je slabe vodopropusnosti, što je karakteristično za flišne naslage koje u tom smislu predstavljaju vodonepropusne naslage, međutim zbog promjena slojeva pješčenjaka i lapora, te razlomljenosti pojedinih zona moguće je očekivati procjeđivanje površinskih voda.[14] Zbog podložnosti lapora rastrošbi pod atmosferskim utjecajima, potrebno je izvesti učinkovitu odvodnju u jami i oko jame.[15] Preporuča se i zaštita širokog iskopa na plohi temeljenja od rastrošbe slojem mršavog betona. Tijekom provođenja istražnih radova nije zabilježena pojava podzemne vode. [6]

Indeks razlomljenosti stijenske mase (RQD) na dnu istražnih jama se kreće u rasponu od <25% do intervala 25-50%. Matična stijena ima geološki indeks čvrstoće (GSI) u rasponu od 30 do 40 bodova, a prema geomehaničkoj kvalifikaciji (RMR) iznos od 36 bodova. Orijentacija nagiba pukotinskih sustava je poremećana intezivnim tektonskim aktivnostima na području te se mogu očekivati razni nagibi slojeva. [6]

Prema normi HRN EN 1998-1:2012/NA:2011 za područje Splita i povratni period od 475 godina očitano je maksimalno horizontalno ubrzanje u iznosu od 0.22 g prema karti potresnih područja (<http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/>). Za seizmički proračun konstrukcije tlo na lokaciji spada u razred A.

## 4. TEHNIČKI OPIS

Ovim tehničkim opisom se definiraju tehnički uvjeti za izradu zaštite građevne jame za zgradu poslovno-ugostiteljsko-turističke namjene na lokaciji Trstenik-Radoševac u Splitu. Objekt u pitanju se izvodi na k.č.z. 10047/1 i k.č.z. 10047/4 kao što je prikazano na slici 13.



Slika 13. Prikaz objekta na karti Splita i prikaz katastarskih čestica

Objekt se sastoji od podruma koji služi kao garaža, suterena, prizemlja te 3 kata. Tlocrtna površina objekta je približno dimenzija 25,5 x 30 m. Temeljenje građevine se izvodi pomoću temeljne ploče, a kota temeljenja se predviđa na apsolutnoj koti od 12,15 m n.m.

### 4.1 Opis tehničkog rješenja građevne jame

U radu su opisane dvije varijante oblikovanja pokosa građevne jame koje se razlikuju u načinu zaštite istočnog pokosa građevne jame, ovisno o tome koliko se smije ulaziti u susjednu parcelu.

Nagibi pokosa građevne jame za matičnu stijensku masu i nasipni materijal određeni su pomoću tablice 4, koja daje orijentacijske veličine nagiba za razne vrste tla i stijene prema njihovim svojstvima i visini.

Za lapor koja se opisuje kao trošna (mekka) stijena tablica 4 preporuča nagib između 2:1 – 5:1, a odabran je nagib odnosa 3:1. Za nasipni materijal (nasuti materijal i eluvij) uzima se nagib iznosa 1:1, iako je u tablici preporuka za vezane materijale 1:1,25. Izbor takvog nagiba je na strani sigurnosti iz razloga što gornji sloj varira od mjesta do mjesta, te je slabe zbijenosti i onečišćen raznim organskim otpacima. Oko konture tlocrta građevine ostavljen je radni prostor

širine 50 cm, osim na sjevernom dijelu gdje je 10 cm iz razloga manjka prostora zbog prometnice.

Tablica 4. Orijentacijske veličine nagiba za razne materijale [2]

vrsta tla	svojstvo	stanje tla	prostorna težina [ $\text{tN/m}^3$ ]	visina nasipa [m]				dubina usjeka [m]***			
				<3	3-6	6-9	9-12	<3*	3-6	6-9	9-12
				Nagib kosine							
stijena	čvrsta			-	-	-	-	uspravan			
	trošna			-	-	-	-	2:1-5:1			
	lomljeni kamen (krupan)			1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1
nevezano	lomljeni kamen (sitan)			1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5
	šljunak, krupnozrni ili pjeskoviti šljunak	Jako zbijeno, velike gustoće	21-24	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5	1:1,5
	krupno do srednje zrnati pijesak, bez praha, jednolik		18-21	1:1,5	1:1,5	1:1,75	1:1,75	1:1,5	1:1,5	1:1,75	1:1,75
	sitnozrni, prašinsti pijesak, jednolik		17-21	1:1,5	1:1,75	1:2	1:2	1:1,5	1:1,75	1:2	1:2
vezano	prašinsti pijesak, vezani	prirodna vlažnost ispod granice plastičnosti	17-21	1:1,5	1:1,25	1:2,75	1:3	1:1,5	1:2	1:2	1:2
	srednje do visoko - plastični prah vezani		18-22	1:1,25**	1:2	1:2,25	1:3	1:1,25	1:1,25	1:1,75	1:2
	pjeskovita glina, vezana		18-22	1:1,25**	1:1,75	1:2	1:2,75	1:1,25	1:1,25	1:1,5	1:1,25
	srednjeplastična glina, vezana		17-23	1:1,25**	1:1,75	1:1,25	1:3	1:1,25	1:1,5	1:1,75	1:2
	visokoplastična glina		17-23	1:1,25**	1:1,75	1:3	1:4	1:1,25	1:1,25	1:2	1:2

Pokos na sjevernoj strani jame se u matičnoj stijeni izvodi u nagibu 3:1, a u nasipnom materijalu u nagibu 1:1. Isti nagibi se i primjenjuju za zapadnu stranu građevne jame, osim sjeverozapadnog dijela uz postojeće stepenište. Pri iskopu sjeverne strane jame treba obratiti pažnju na vodovodnu cijev koju treba premjestiti, te po završetku radova vratiti na mjesto. Iznad sjeverne strane se nalazi i prometnica kojom treba ograničiti promet na 2,5 m od ruba ceste tijekom izvođenja radova. Zaštita pokosa se sastoji od jednog reda sidara tipa DYWI R32 N duljine 8 m i sloja prskanog betona debljine 10 cm.

Na sjeverozapadnom dijelu lokacije nalazi se stepenište koje se na zapadnoj strani naslanja na postojeći armiranobetonski zid susjednog izgrađenog objekta. Tijekom istražnih radova nije bilo moguće utvrditi dubinu temeljenja i kvalitetu izrade zida uz stepenište, ali vizualnim pregledom je utvrđen postojeći zid koji se naslanja na armiranobetonski zid koji pokazuje

znakove segregacije i pukotina u betonu. Iz tog razloga prilikom izvedbe radova na tom dijelu potrebno je obratiti pažnju kako ne bih došlo do oštećenja postojećeg zida.

Rješenje ovog dijela jame će se odviti pilanjem stubišta na naznačenoj širini, te ostavljanjem dijela stubišta prema zapadu, kako ne bih došlo do oštećenja potpornog zida susjednog objekta. Nagib pokosa ovog dijela jame se izvodi u nagibu 3:1 sve do stepeništa. Zaštita pokosa se izvodi mlaznim betonom debljine 10 cm i adhezijskim štapnim sidrima od rebraste armature B500B promjera 28 mm. Duljina sidara je 1,5 m, osim u gornjem dijelu pokosa gdje zbog prodiranja sidara u potporni zid susjedne parcele je potrebno prilagoditi duljinu. Šipke su promjera  $\emptyset$  28 mm, a bušotine promjera 54 mm. Nagib sidara je  $14^\circ$  u donosu na horizontalu.

Sustav zaštite sjeverozapadnog pokosa nagiba 3:1 se sastoji od:

- Štapnih sidara od armature B500B duljine 1,5 m (osim manjeg dijela), promjera  $\emptyset$  28 mm, te promjera bušotine 54 mm, koja osiguravaju armaturnu mrežu i prionjivost prskanog betona,
- Rapored sidara je na razmaku od 1,5 x 1,5 m,
- Za prskani beton se koristi razred betona C 25/30, u debljini od 10 cm (dva sloja po 5 cm),
- Koristi se armaturna mreža Q-196

Južni pokos građevne jame se cijeli nalazi u matičnoj stijeni i izvodi se u nagibu od 3:1. Iskop se vrši do kote 16.10 m n.m, te se formira plato do južnog ruba parcele. Na južnoj strani se nalazi jednoetažni objekt kojeg je potrebno potpuno ukloniti da bih se formirao plato, osim objekta na južnoj strani se nalazi i betonski potporni zid koji se nastavlja prema zapadnom objektu. Zid se kao i objekt uklanja osim manjeg zapadnog dijela koji se ostavlja kako ne bih došlo do oštećenja susjednog potpornog zida.

Istočni dio građevne jame u prvoj varijanti se izvodi kao i ostali dijelovi u nagibu 3:1 za matičnu stijenu i u nagibu 1:1 za nasipni materijal. Na pojedinim mjestima pretpostavljene su određene visine zbog manjka podataka na geodetskoj podlozi. U drugoj varijanti pokos se izvodi vertikalno u cijeloj visini pokosa i osigurava kombinacijom sidara u tipa DYWI R32 N duljine 7 m i pod kutem od  $7^\circ$  u odnosu na horizontalu.

Sustav zaštite istočnog pokosa u drugoj varijanti se sastoji od:

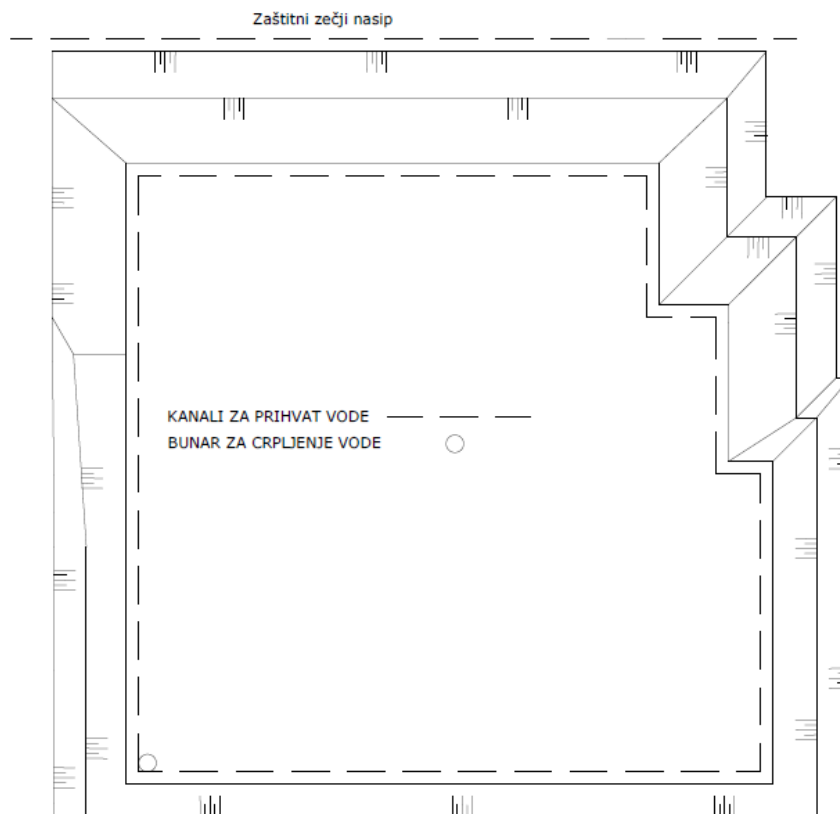
- Sidara tipa DYWI R32 N duljine 7 m, promjera  $\emptyset$  22,8 mm, te promjera bušotine 180 mm,
- Rapored sidara je na razmaku od 2 x 1,5 m i ugrađena su pod kutem od  $7^\circ$ ,

- Za prskani beton se koristi razred betona C 25/30, u debljini od 10 cm (dva sloja po 5 cm),
- Za pridržanje armature se koriste štapna sidra B500B duljine 1,5 m, promjera  $\varnothing$  28 mm, te promjera bušotine 54 mm, koja osiguravaju armaturnu mrežu i prionjivost prskanog betona,
- Koristi se armaturna mreža Q-196.

## 4.2 Zaštita od oborinske i podzemne vode

Istražnim radovima nije uočena pojava podzemne i procjedne podzemne pri iskopu istražnih jama. U građevnoj jami potrebno je rješenje samo za oborinske vode.

Rješenje obuhvaća izgradnju betonskog zečjeg nasipa visine 20 cm uz rub prometnice na sjevernoj strani građevne jame kako oborinske vode s prometnice ne bih slijevale niz pokos građevne jame. Također se unutar građevne jame izvodu kanali za prihvat vode i bunar za crpljenje vode koja se potom prebacuje na južnu stranu niz slobodni pokos. Skica rješenja dana je slikom 14.



Slika 14. Prikaz rješenja zaštite od oborinskih voda



### 4.3 Zemljani radovi

Prije početka izvođenja zemljanih radova potrebno je obaviti prethodne i pripremne radove na način da je omogućeno nesmetano i sigurno odvijanje svih radova. Još prije građenja i ustupnja radova izvođaču geodetska služba mora iskolčiti glavnu os građevine i sve stalne točke (rubovi usjeka, nasipa i sl.).

U pripremne i prethodne radove spada niz aktivnosti kao:

- Premještanje postojećih instalacija,
- Izrada gradilišne infrastrukture i pristupnih puteva,
- Rušenje postojećih objekata,
- Osiguranje gradilišta od dotoka oborinskih voda,
- Sječa šiblja, drveća, granja i sl.

Zemljani radovi po završetku radova moraju odgovarati svim visinama, dimenzijama i nagibima koji su izneseni u projektnoj dokumentaciji, inače se moraju prepraviti uz odobrenje nadzornog inženjera.

Izbor tehnologije i strojeva iskopa se prepušta na izbor izvođaču. Tijekom iskopa se je potrebno pridržavati sljedećih uputa:

- Široki iskop je potrebno vršiti u segmentima visine približno od 2-3 m,
- Nakon iskop segmenta potrebno je ugraditi propisan način zaštite pokosa na predviđenim mjestima,
- Konačni nagibi i visinske kote trebaju odgovarati onima iz projekta,
- Potrebno je zaštititi građevnu jamu i okolicu iste od štetnog utjecaja vode, te nije dopušteno zadržavanje vode u iskopima,
- Pri iskopu je potrebno paziti na prekomjerna oštećenja temeljnog tla i pokosa miniranjem i sl.,
- Tijekom rada ne smije doći do oštećenja i potkopavanja susjednih građevina i okolnog tla,
- Iskop je potrebno vršiti uz geotehnički nadzor (potrebno je tijekom iskopa vršiti snimanje elemenata stijenske mase s preporukama ISRM-a), ako je pregledom utvrđeno da se javljaju mjesta gdje stijenska masa ne odgovara uvjetima opisanim u tekstu potrebno je zaustaviti radove i izvršiti dodatnu stabilizaciju,
- Radove je potrebno izvesti u sušno dijelu godine zbog manje količine oborina i procjedne vode,

- Zbog podložnosti lapora rastrošbi potrebno je pokos zaštititi od utjecaja vlaženja i sušenja (npr. prekrivanje pokosa s plastičnom folijom).

Po završetku radova potrebno je izvršiti čišćenje gradilišta i uređenje okoliša te njihovo dovođenje do prvobitno stanje. Također je potrebno zbrinuti sav otpad i višak materijala na njihovo predviđeno mjesto.

Prema općim tehničkim uvjetima (OTU) razlikuju se tri kategorije tla s obzirom na sredstva s kojim se vrši iskop tla :

*a) Iskop u tlu kategorije „A“*

Pod tlom kategorije „A“ podrazumijevaju se sva čvrsta tla kod kojih se iskop vrši miniranjem i teškim strojevima s hidrauličkim čekićem. Toj skupini pripadaju sve vrste čvrstih i kompaktnih stijena u zdravom stanju, uključujući i manje slojeve rastresitog materijala. Također se i u ovu kategoriju ubrajaju i tla koja sadrže više od 50% samaca većih od 0.5 m<sup>3</sup>.

*b) Iskop u tlu kategorije „B“*

Pod tlom kategorije „B“ podrazumijevaju se polučvrsta kamenita tla, gdje je iskop moguć strojnim putem ili djelomičnim miniranjem. Toj skupini tala pripadaju lapori, trošni pješčenjaci i sl.

*c) Iskop u tlu kategorije „C“*

Pod tlom kategorije „C“ se smatraju sva tla koja nije potrebno minirati, nego se mogu kopati izravno upotrebom pogodnih strojeva – buldozerom, bagerom ili skrejperom. U ovu kategoriju spadaju sitnozrna vezana tla, krupnozrna nevezana tla i mješovita tla koja su mješavina nevezanih i vezanih tla.

Stijena/tlo na lokaciji izvođenja radova se svrstava:

- Iskop u slojevima čvrste flišne stijene (E<sub>2,3</sub>) pripadaju „A“ kategoriji
- Iskop u slojevima meke flišne stijene (E<sub>2,3</sub>) pripadaju „B“ kategoriji
- Iskop u slojevima eluvija i nasipnog materijala (Q<sub>el</sub> i N) pripadaju „C“ kategoriji

#### 4.4 Zaštita pokosa

Prskani beton se koristi kod zaštite sjeverozapadnog i istočnog pokosa. Pod pojmom prskanog betona se podrazumijeva beton koji se ugrađuje pod tlakom kroz posebne mlaznice, pri čemu se kompaktira i prijanja uz podlogu. Ima ulogu homogenizacije i ojačavanja površine u svrhu zaštite pokosa.

Za upotrebu u konkretnom slučaju za zaštitu pokosa treba imati sljedeća svojstva:

- Debljina  $d=10$  cm (nanosi se u dva sloja 5+5 cm),
- Razred čvrstoće betona C 25/30,
- Minimalni odskok (10-40%),
- Najveća krupnoća zrna agregata u iznosu od 16 mm.

Za tehnologiju ugradnje prskanog betona može se koristiti mokri i suhi postupak, koji se ostavlja na izbor izvođaču. Pri ugradnji prskanog betona potrebno se je pridržavati sljedećih uputa:

- Površinu na koju se ugrađuje prskani beton treba biti pripremljena na način da se uklonu sve slabe i nevezane stijene s površine pokosa.
- Prije ugradnje prskanog betona potrebno je površinu „ispuhati“ komprimiranim zrakom.
- Prvim slojem betona je potrebno izravnati površinu pokosa tako da bih se postiglo što bolje prijanjanje armaturne mreže.
- Potrebno je poprskati malom količinom vode prvi sloj prskanog betona prije ugradnje drugog sloja.
- Vrijeme između nanošenja drugog sloja treba biti što kraće kako bih se postigao kvalitetni kontakt između slojeva.

Prskani beton treba zadovoljiti norme:

HRN EN 14487-1 Mlazni beton – 1.dio: Definicije, specifikacije i sukladnost.

HRN EN 14487-2 Mlazni beton – 2.dio: Izvedba.

HRN EN 14488-2 Mlazni beton – Ispitivanje mlaznog betona – 2.dio: Čvrstoća.

HRN EN 14488-6 Mlazni beton – Ispitivanje mlaznog betona – 6.dio: Debljina mlaznog betona na podlozi.

Za armaturne mreže odabire su mreže B500B Q-196. Nakon prvog sloja prskanog betona polažu se mreže koje se pričvršćuju pomoću adhezijskih sidra postavljenih na razmaku 1,5 x 1,5 m. Mreže će se ugrađivati u svojim punim dimenzijama 6 x 2,20 m, osim kod završetaka gdje će se duljina prilagoditi ostatku potrebne duljine. Kod ugradnje mreža potrebno je osigurati zaštitni

sloj u debljini iznosa 3 cm. Armaturna mreža treba biti postavljena na način da se izbjegnu mogući pomaci tijekom betoniranja i da što bolje prati nepravilnosti površine pokosa i prvog sloja prskanog betona. Preklop treba biti izveden tako da je najmanje dvostruko veći od udaljenosti razmaka armaturnih šipki u uzdužnom smjeru. Kontrolna ispitivanja moraju se odvijati prema normi HRN EN 15630-2.

Za adhezijska štapna sidra koristi se armatura B500B promjera  $\varnothing$  28 mm, koja se ugrađuju u bušotinu 54 mm. Duljina sidara je 1,5 m, a ugrađuju se pod kutem od  $14^\circ$  s obzirom na horizontalu. Sami sustav sidra se sastoji od sidrene šipke, navrtke i podložne pločice. Sidro se polaže u bušotinu te potom ispunjava injekcijskom smjesom.

Za stabilizaciju istočnog pokosa građevne jame se štapna samobušiva IBO sidra. Štapna samobušiva sidra se koriste na način da se umjesto strojnog bušenja koristi samo sidro koje na kraju ima bušeću glavu. Bušenjem sidra odgovarajuće dužine ujedno se i postavlja sidro pripadajuće duljine. Injektiranje sidra izvodi se kroz samo sidro na način da postoji otvor kroz kojih izlazi injekcijska smjesa. Za stabilizaciju istočnog pokosa odabrano je sidro DYWI R32 N promjera  $\varnothing$  22.8 mm i promjera bušotine 180 mm, te se postavljaju na razmaku  $2 \times 1,5$  m i duljine su iznosa 7 m. Osnovne karakteristike sidra prikazane su u tablici 5.

Tablica 5. Prikaz karakteristika odabranog sidra

Technical Data

Type	Cross-sectional area A [mm <sup>2</sup> ]	Load at yield F <sub>yk</sub> [kN]	Ultimate load F <sub>tk</sub> [kN]	Weight [kg/m]	Approval
R32-210 (R32L)	340	160	210	2.65	○ × △
R32-250	370	190	250	2.90	○ × △
R32-280 (R32N)	410	220	280	3.20	○ × △
R32-320	470	250	320	3.70	○ × △
R32-360 (R32S)	510	280	360	4.00	○ × △
R32-400	560	330	400	4.40	○ × △
R38-420	660	350	420	5.15	○ × △
R38-500 (R38N)	750	400	500	5.85	○ × △
R38-550	800	450	550	6.25	○ × △
R51-550 (R51L)	890	450	550	6.95	○ × △
R51-660	970	540	660	7.65	○ × △
R51-800 (R51N)	1,150	640	800	9.00	○ × △
T76-1200 (T76L)	1,610	1,000	1,200	12.60	
T76-1600 (T76N)	1,990	1,200	1,600	15.60	
T76-1900 (T76S)	2,360	1,500	1,900	18.50	

Injekcijska smjesta se radi na bazi cementa uz upotrebu fluidifikatora i uz dodatak srestava za ekspanziju smjese tijekom stvrdnjavanja. Injekcijska smjesa treba biti u skladu s normom HRN EN 447:2008, postupak injektiranja u skladu s normom HRN EN 446:2008, a ispitivanja se provodu prema normi HRN EN 445:2008. Smjesa treba biti razreda čvrstoće C 30/37. Kriterij čvrstoće injekcijske smjese treba zadovoljiti minimalno  $8 \text{ N/mm}^2$  nakon 1 dana, te minimalno  $30 \text{ N/mm}^2$  nakon 30 dana.

Ukoliko se iskopom utvrdi lošije stanje stijenske mase od onog opisanog istražnim radovima potrebno je izvesti zaštitu pokosa kombinacijom prskanog betona, armaturnih mreža i štapnih sidara uz odobrenje nadzornog inženjera. Ukoliko je ta razlika iznimna potrebna je konzultacija s projektantom za daljnu odluku.

Prema ISSMFE (1985.) pod meke stijene spadaju materijali koji na uzorku monolita imaju tlačnu čvrstoću u rasponu od 0.5 do 25.0 MPa [8]. Pod ovom podjelom se obuhvaćaju materijali pod nazivom i slabe stijene, međutim to nije ista grupa materijala po svojim fizikalno-mehaničkim svojstvima. [9]. Meke stijene po nastanku su pretežito sedimentne stijene, kao što slučaj u konkretnom primjeru za lapor. Glina je osnova za predkonsolidirane gline koje potom prilikom procesa dijageneze prelazi u lapore. Kod ovakvih vrsta stijena jedno od najizraženijih svojstava je podložnost rastrošbi pod utjecajem čimbenika kao što su procesi grijanja-hlađenja, sušenja-vlaženja i zamrzavanja-odmrzavanja. Kod lapora najveću ulogu ima voda u procesima sušenja i vlaženja, smrzavanja i odmrzavanja, te pri raznim kemijskim procesima. [9]

Iz gore navedenih razloga potrebno je obratiti pažnju na sljedeće:

- Izvedba učinkovite odvodnje oko građevne jame i u građevnoj jami na način da nije dopušteno zadržavanje vode na bilo kojem dijelu jame,
- Radovi vezani uz izvođenje građevne jame trebaju biti u sušnom razdoblju godine ili što bliže istom razdoblju kako bih se postigao najmanji mogući utjecaj vode.
- Kosine je potrebno prekriti plastičnom folijom i zaštitnom mrežom.

## 5. GEOTEHNIČKI PRORAČUN STABILNOSTI POKOSA GRAĐEVNE JAME

Za predmetnu građevinu proračun stabilnosti kosina zasjeka će se provesti u programskom paketu ROCSCIENCE SLIDE V.6.0. za definirane geotehničke parametre, geometriju kosine i geotehničkim presjecima. Svi proračuni su sukladni važećoj normi HRN EN 1997-1:2012/NA (Eurokod 7-geotehničko projektiranje).

Prema HRN EN 1997-1:2012/NA geotehnička građevina spada u geotehničku kategoriju 2, te zahtjeva uobičajena istražna i laboratorijska ispitivanja. Građevina se smatra trajnom građevinom kao i sve geotehničke građevine, te je potrebna analiza seizmičkog djelovanja za povratni period od 475 godina.

Pri geotehničkom proračunu koriste se računске vrijednosti dobivene iz karakterističnih vrijednosti uz primjenu parcijalnih koeficijenta prema proračunskom pristupu 3 (PP3) ( $A_1+M_2+R_3$ ). Vrijednosti parcijalnih faktora za proračunski pristup 3 prikazan je u tablici 6.

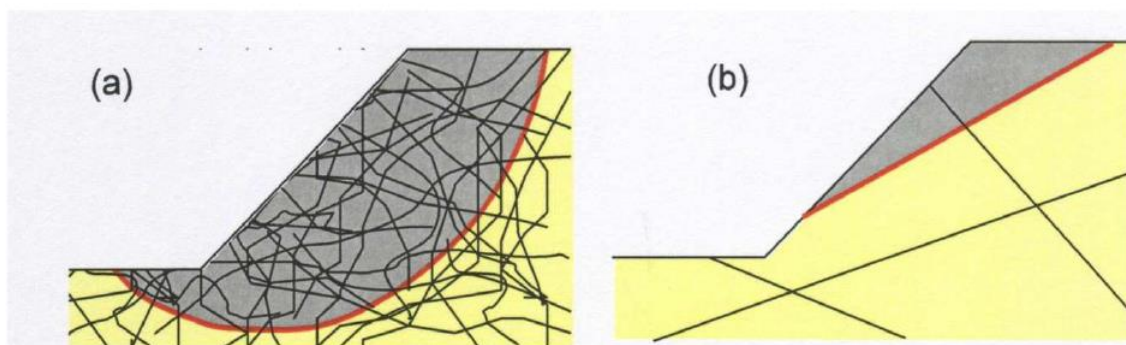
Tablica 6. Prikaz vrijednosti parcijalnih koeficijenata za PP3

<b>DJELOVANJE (<math>\gamma_F</math>)</b>		<b>SIMBOL</b>	<b><math>A_1</math></b>
TRAJNO	Nepovoljno	$\gamma_G$	1,35
	Povoljno	$\gamma_G$	1,00
PROMJENIVO	Nepovoljno	$\gamma_Q$	1,50
	Povoljno	$\gamma_Q$	0,00
<b>PARAMETRI TLA (<math>\gamma_M</math>)</b>		<b>SIMBOL</b>	<b><math>M_2</math></b>
Kut unutarnjeg trenja		$\gamma_{tgb}$	1,25
Efektivna kohezija		$\gamma_c$	1,25
Nedrenirana čvrstoća		$\gamma_{cu}$	1,40
Jednoosna tlačna čvrstoća		$\gamma_{qu}$	1,40
Jedinična težina tla		$\gamma_\gamma$	1,00
<b>OTPOR (<math>\gamma_R</math>)</b>		<b>SIMBOL</b>	<b><math>R_3</math></b>
Nosivost		$\gamma_{Rv}$	1,00
Klizanje		$\gamma_{Rh}$	1,00
Pasivni otpor		$\gamma_{Re}$	1,00

\*Za seizmičku proračunsku kombinaciju djelovanja, svi parcijalni koeficijenti djelovanja iznose  $\gamma_{Fi(A2)} = 1$ .

Pri analizi stabilnosti kosine u stijenskoj masi moraju se uzeti u obzir oba mehanizma loma kao što je prikazano na slici 15. Prvi je lom po zakrivljenoj plohi kada se stijenska masa može promatrati kao kontinuum i drugi oblik plohe loma koji je određen položajima diskontinuiteta u

stijenskoj masi. [9] U konkretnom slučaju nagibi i smjerovi međuslojnih pukotina su takvi da strukturni lom nije moguć, te se ne ulazi u analizu takvog loma.



Slika 15. Mehanizmi loma u stijenskoj masi za: a) lom po zakrivljenoj plohi ; b) Lom određen položajem diskontinuiteta [9]

U slučaju analize loma po zakrivljenoj plohi definiraju se dvije geotehničke sredine. Prva geotehnička sredina (GS1) je zona matične stijene (lapora), druga geotehnička sredina (GS2) je zona okršene i razlomljene matične stijene i površinski sloj nasipnog materijala. U programskom paketu je pretpostavljena kružna ploha loma za koju paket traži kritičnu plohu s najmanjim koeficijentom sigurnosti, pomoću metoda granične ravnoteže.

U modelu se koristi Bishopova metoda granične ravnoteže. Bishopova metoda se temelji na nekoliko pretpostavki, ploha loma je uvijek kružnog oblika, sile između lamela u vertikalnom smjeru su jedanke nuli i ukupna normalna sila uvijek djeluje u težištu lamele.

## 5.1 Definiranje parametara čvrstoće stijenske mase u zoni geotehničke sredine 1 (GS1)

Za definiranje parametara čvrstoće stijenske mase koji se koriste u proračunu koristi se Hoek-Brownov kriterij čvrstoće, uz uvjet da se promatrana stijenska masa može smatrati kao kvazihomogena, što znači da diskontinuiteti nisu reda veličine kao geotehnički problem koji se rješava. Parametri kao što je jednoosna tlačna čvrstoća, geološki indeks čvrstoće (GSI) te parametri stijenske mase su dobiveni iz laboratorijskih rezultata te pripadajućih tablica s terena ili iz literature. [10]

Generalizirani oblik Hoek-Brownovog kriterija dan je izrazom:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left( m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a$$

Gdje su:

$m_b$ ,  $a$ ,  $s$ - parametri stijenske mase

$m_i$  - parametar ovisan o vrsti stijene koja gradi stijensku masu (intaktni uzorak stijene)

$\sigma_c$  - jednoosna tlačna čvrstoća intaktnog uzorka stijene

$\sigma'_1; \sigma'_3$  - veće i manje efektivno glavno naprezanje

Za stijensku masu parametri  $m_b$ ,  $a$  i  $s$  se mogu odrediti iz sljedećih izraza:

$$\frac{m_b}{m_i} = e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14D_{HB}}\right)}$$

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D_{HB}}\right)}$$

$$a = 0,5 + \frac{1}{6} \left( e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

Parametar  $m_i$  ovisi o vrsti stijene i njenim mehaničkim svojstvima koji se ispituju pomoću troosnog uređaja. Ako mjerenja nisu dostupna koristi se iskustvena tablica prema vrstama stijena. U konkretnom slučaju prema tablici 7 za lapor vrijednost parametra  $m_i$  iznosi  $m_i = 7 \pm 2$ .

Tablica 7. Prikaz vrijednosti paramera  $m_i$

vrsta stijene	razred	grupa	tekstura			
			gruba	srednja	fina	vrlo fina
sedimentne	klastične	konglome- rat <sup>a</sup> (22) breča <sup>a</sup>	pješčenjak 17±4	silit 7±2	glinac 4±2	
					šejl (6±2)	
					lapor (7±2)	
					dolomit (9±3)	
	neklasične	organo- gene	kreda 7±2		ugljen (8-21)	
			karbo- natne	kristalasti vapnenac (12±3)	sparitni vapnenac (10±2)	mikritni vapnenac (9±2)
evapo- riti				gips 8±2	anhidrit 12±2	

Vrijednost parametra poremećenosti  $D_{HB}$  se usvaja u iznosu  $D_{HB} = 0,4$  i odgovara opisu iskopa stijenske mase mehaničkim ili ručnim iskopom u stijenskoj masi loše kvalitete, koji je rezultirao minimalnom poremećenosti stijenske mase.

Za izračun parametara potrebna je i vrijednost geološkog indeksa čvrstoće (GSI) za stijensku masu. Za stijensku masu u konkretnom slučaju napravljena je geomehanička klasifikacija (RMR) koja boduje niz parametara stijenske mase kao što su jednoosna tlačna čvrstoća, indeks kakvoće stijenske mase (RQD), svojstva pukotine i stanje podzemne vode.



Geološki indeks čvrstoće dobije se korelacijom, a geomehanička klasifikacija je prikazana u tablici 8.

Tablica 8. Prikaz bodovanja za RMR

PARAMETAR	PODRUČJA VRIJEDNSTI		BROJ BODOVA	
	Vrijednost i opis	Interval		
Jednoosna tlačna čvrstoća	$\sigma_{ci}=10$ Mpa	3-10 Mpa		1
Indeks kakvoće jezgre RQD	<25% i 25%-30%	<25%		3
Razmak diskontinuiteta	<60 i 60-200 mm	<0,06		6
Klasifikacija stanja pukotina:				
Duljina i kontinuiranost	Duljina i kontinuiranost	3-10m i 10-20 m	10-20 m	1
	Zijev	<0,1mm i 0,1-1mm	0,1-1mm	4
	Hrapavost	Blago hrapave i glatke	-	2
	Ispuna	Meka ispuna <5 mm	-	2
	Rastrošenost stijenki	Srednje do izrazito rastrošene	-	2
	Ukupno stanje diskontinuiteta			
Uvjeti stanja podzemne vode	-	Potpuno suho		15
Utjecaji orijentacije i smjera pukotina	-	Vrlo povoljno		0
<b>Ukupno:</b>				<b>36</b>

Ako je  $RMR_{89} > 23$  za dobivanje vrijednosti geološkog indeksa čvrstoće može se koristiti korelacija prema izrazu:

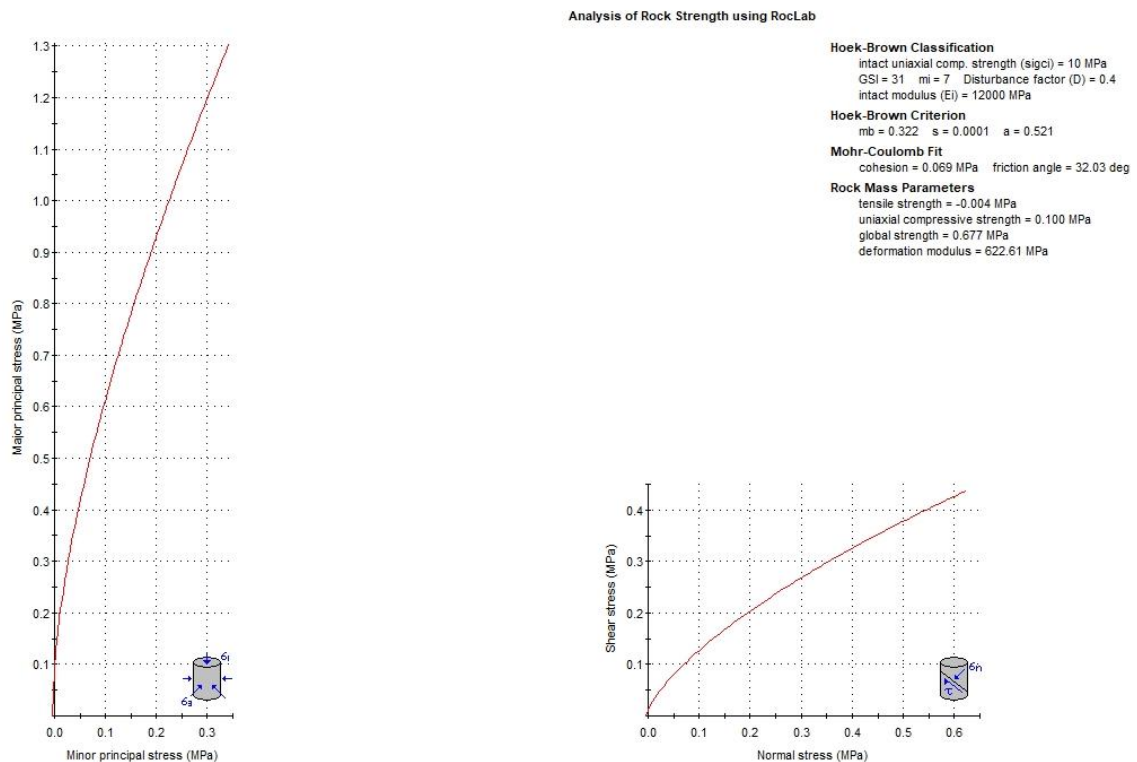
$$GSI = RMR_{89} - 5$$

$$GSI = 36 - 5 = 31$$

Za potrebe proračuna stabilnosti kosine pomoću Hoek-Brownov kriterija čvrstoće se aproksimiraju vrijednosti parametara unutarnjeg kuta trenja i kohezije Mohr-Coulumbovog kriterija sloma. Aproksimacija parametara se vrši pomoću programa Rocscience/RocLab. Prikaz ulaznih podataka i rezultati su prikazani u tablici 9 i slici 16.

Tablica 9. Prikaz ulaznih podataka i rezultata aproksimacije

Hoek Brown Classification		Failure Envelope Range	
$\sigma_{ci}$	10 MPa	Application	Slopes
GSI	31	$\sigma_{3,max}$	0.342916 MPa
$m_i$	7	Unit Weight	0.023 MN/m <sup>3</sup>
D	0.4	Slope Height	20 m
$E_i$	12000 MPa		-
Hoek Brown Criterion		Mohr-Coulomb Fit	
$m_b$	0.3216	c	0.069 Mpa
s	0.000143934	$\phi$	32.03°
a	0.520889		-
<b>Rock Mass Parameters</b>			
	sigt	-0.0045 MPa	
	sigc	0.0997 MPa	
	sigcm	0.677 MPa	
	Erm	622.615 MPa	



Slika 16. Rezultati proračuna parametara stijenske mase u RocLabu ( $\sigma$ - $\tau$  dijagram)

Pri proračunu stabilizacije kosine, odabrani su sljedeći parametri kohezije i unutarnjeg kuta trenja za geotehničku sredinu 1 (GS1):

$$c = 69 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 32^\circ$$

$$\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$$

## 5.2 Definiranje parametara čvrstoće u zoni geotehničke sredine 2 (GS2)

Pri proračunu stabilizacije kosine, odabrani su sljedeći parametri kohezije i unutarnjeg kuta trenja za geotehničku sredinu 2 (GS2):

$$c = 5 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 28^\circ$$

$$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$$

Pri odabiru parametara za geotehničku sredinu 2 parametri su određeni iskustveno, ali na strani sigurnosti. Razlog toga su skupi istražni radovi za relativno sloj male debljine, koji mjestimično varira značajno u kvaliteti.

### 5.3 Definiranje projektnih opterećenja i prikaz projektnih parametara kosine

Unutar programskog paketa ROCSCIENCE SLIDE sva opterećenja i parametri se automatski faktoriziraju ovisno o odabranim normama (HRN EN 1998-1:2012/NA:2011). Vlastita težina kosine je automatski izračunata programom za unesene podatke jedinične težine tla. Betonski elementi kao što su zidovi i ostali elementi od betona imaju zadanu jediničnu težinu  $\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$ .

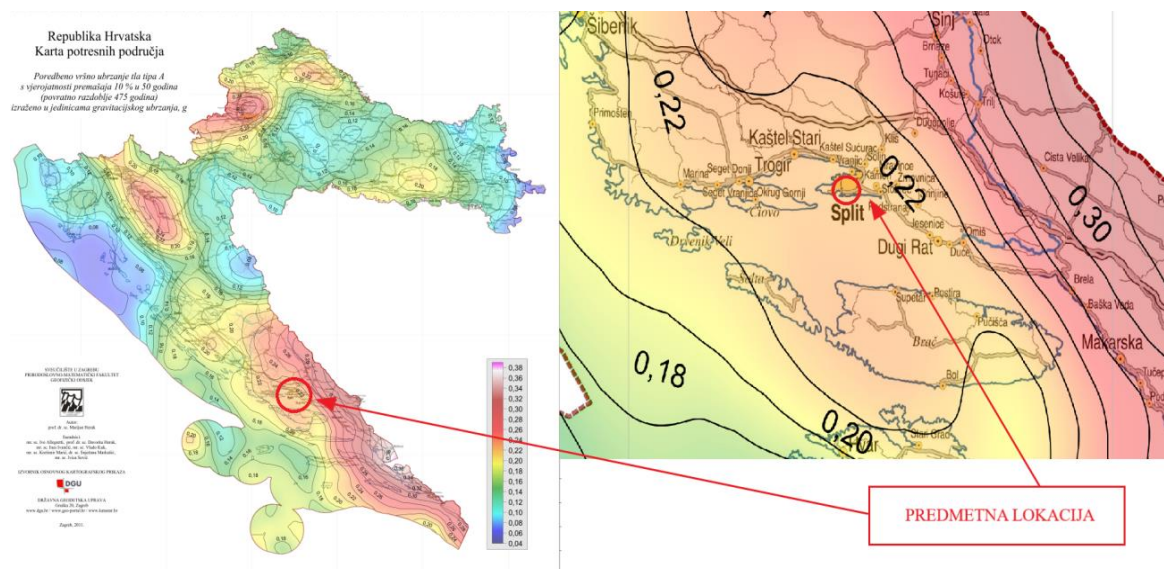
Kao dodatno opterećenje na sjevernom dijelu jame uz prometnicu usvaja se dodatno opterećenje od teške građevinske mehanizacije u iznosu  $Q_m=350 \text{ kN}$  koje se nalazi 2.5 m od ruba postojeće prometnice. Zamjenjujuće pokretno jednoliko raspodijeljeno opterećenje se usvaja u iznosu:

$$q_k = 350 / (3 \cdot 5) = 23,33 \text{ kN/m}^2$$

Projektno jednoliko kontinuirano opterećenje:

$$q_p = 1.3 \cdot 23,33 \approx 30 \text{ kN/m}^2$$

Za područje zahvata prema potresnoj karti Hrvatske za povratni period od 475 godina, usvaja se proračunsko ubrzanje u iznosu  $a_g=0,22g$ . Karta s označenim mjestom objekta naznačena je na slici 17.



Slika 17. Karta potresnih područja Hrvatske i uvećani prikaz za lokaciju objekta [11]

Za podjelu tla prema HRN EN 1997-1:2012/NA:2011 (tablica 10) tlo na lokaciji spada u tip A, a za određivanje parametra tla S koristi se elastični spektar Tipa 1 prikazan u tablici 11, te se usvaja vrijednost  $S=1,0$ .

Tablica 10. Podjelu tla prema HRN EN 1997-1:2012/NA:2011

Tip tla	Opis stratigrafskog profila	Parametri		
		$V_{S,30}$ (m/s)	$N_{SPT}$ (br. ud. /30 cm)	$c_u$ (kPa)
A	Stijena ili slične geološke formacije s najviše 5 m slabog materijala na površini.	> 800	-	-
B	Naslage vrlo zbijenih pijesaka, šljunaka ili vrlo krute gline debljine nekoliko 10-aka m, sa svojstvom postupnog poboljšanja mehaničkih svojstava s dubinom	360 - 800	> 50	> 250
C	Naslage zbijenih ili srednje zbijenih pijesaka, šljunaka ili krutih glina debljine od nekoliko desetka do nekoliko stotina metara	180 - 360	15 – 50	70 - 250
D	Naslage rahlih do srednje zbijenih nekoherentnih tala (sa ili bez slojeva mekog koherentnog tla) ili prevladavajuće meka do čvrsta koherentna tla	< 180	< 15	< 70
E	Profil tla izgrađen od površinskih naslaga aluvija s vrijednostima $V_s$ za tipove tla C ili D, debljine 5-20 m, ispod kojih se nalazi krući materijal s vrijednostima $V_s > 800$ m/s.			
$S_1$	Naslage koje su u potpunosti izgrađene ili sadrže sloj meke gline/praha s visokim indeksom plastičnosti ( $PI > 40$ ) i visokom vlažnosti, a čija debljina je 10 m ili više	< 100	-	10 - 20
$S_2$	Naslage tala podložnih likvefakciji, osjetljive gline ili bilo drugi profil tla koji nije naveden u tipovima od A do $S_1$			

Tablica 11. Parametar tla S za elastični spektar Tipa 1

Tip tla	S
A	1,00
B	1,20
C	1,15
D	1,35
E	1,40

Proračun kosine na potresno djelovanje se provodi pomoću nazovističkih metoda na način da svakom dijelu mase tla dodaju inercijske sile prema izrazima:

-u horizontalnom smjeru

$$F_H = 0,5 \cdot \alpha \cdot S \cdot W$$

- u vertikalnom smjeru za uvjet  $a_{vg}/a_g > 0,6$

$$F_v = \pm 0,5 \cdot F_H$$

Gdje su:

$\alpha$  – omjer  $a_{hg}/g$

$a_{hg}$  – horizontalno proračunsko ubrzanje tla

S – parametar tipa tla

Preporučena vrijednost  $a_{vg}$  u Hrvatskoj je određena nacionalnim dodatkom (HRN EN 1998-1:2011/NA) za elastični spektar odziva Tipa 1 kao omjer  $a_{vg}/a_g = 0,9$ . Za potrebe proračuna potreban je iznos seizmičkih koeficijenata koji se usvajaju u iznosu  $k_h=0,11$  i  $k_v=0,055$ .

Za analizu stabilnosti kosine u obzir se uzimaju dvije mjerodavne proračunske kombinacije, od kojih je mjerodavna seizmička kombinacija:

1. Osnovna kombinacija koja se sastoji od vlastite težine kosine i pokretnog opterećenja od prometne mehanizacije.

2. Potresna kombinacija u kojoj se u obzir uzima vlastita težina i potresno djelovanje.

Karakteristične vrijednosti parametara i njihove pripadajuće projektne vrijednosti prikazane su u tablici 12.

Tablica 12. Prikaz karakterističnih i projektnih vrijednosti parametara

GEOTEHNIČKA SREDINA	KARAKTERISTIČNE VRIJEDNOSTI		PROJEKTNE VRIJEDNOSTI	
	OZNAKA	VRIJEDNOST	PARCIJALNI KOEFICIJENT	VRIJEDNOST
GS1 ( Osnovna stijenska masa)	$\phi_{k1}$ [°]	32,0	$\phi_{d1} = \arctg(\operatorname{tg}\phi_{k1}/1,25)$	26,6
	$C_{k1}$ [kPa]	69,0	$C_{d1} = C_{k1}/1,25$	55,3
GS2 ( Nasip)	$\phi_{k2}$ [°]	28,0	$\phi_{d2} = \arctg(\operatorname{tg}\phi_{k2}/1,25)$	23,0
	$C_{k2}$ [kPa]	5,0	$C_{d2} = C_{k2}/1,25$	4,0

## 5.4 Proračun sidra

Za provjeru loma po spoju sidrišnog tijela i tla/stijene, to jest silu koja natega prenosi na sidrišno tijelo, a ono na tlo se može odrediti pomoću jedinične otpornosti na plaštu (trenja) prema izrazu:

$$R_{S;k} = q_{S;k} \cdot (2r\pi) \cdot L_s$$

Gdje su:

$q_{S;k}$  – karakteristična jedinična otpornost po plaštu sidrenog tijela

$r$  – polumjer sidrišnog tijela

$L_s$  – duljina sidrišnog tijela

U slučaju koherentnog tla karakteristična jedinična otpornost se može odrediti kao:

$$q_{S;k} = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg}\varphi$$

Gdje su:

$c$  – vrijednost kohezije tla u kojemu se nalazi sidro

$\varphi$  – vrijednost kuta trenja tla u kojemu se nalazi sidro

$\sigma_n$  – normalno geostatičko naprezanje na površinu sidrišnog tijela

Za stijenu jedan od načina određivanja vrijednosti karakteristične jedinične otpornosti se može odrediti pomoću raznih iskustvenih tablica kao u tablici 13.

Tablica 13. Iskustvene vrijednosti jedinične otpornosti

Vrsta tla/stijene	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> ) pri lomu
Granit	0,93 - 1,72
Vapnenac	0,63 - 1,19 (3,0)
Pješčenjak	0,30 - 1,44 (4,0)
Lapor	0,60
Šljunkovito tlo	0,20 - 0,30
Pjeskovito tlo	0,15 - 0,22
Koherentno tlo	0,10 - 0,15
	1 N/mm <sup>2</sup> = 1000 (kN/m <sup>2</sup> )

Proračunska otpornost po plaštu u slučaju manjeg obima geotehničkih istražnih radova i u slučaju određivanja karakteristične otpornosti iskustvenim korelacijama se može dobiti pomoću koeficijenta modela kao u izrazu:

$$R_{S;d} = \frac{R_{S;k}}{\gamma_{S;t} \cdot KM}$$

Gdje je

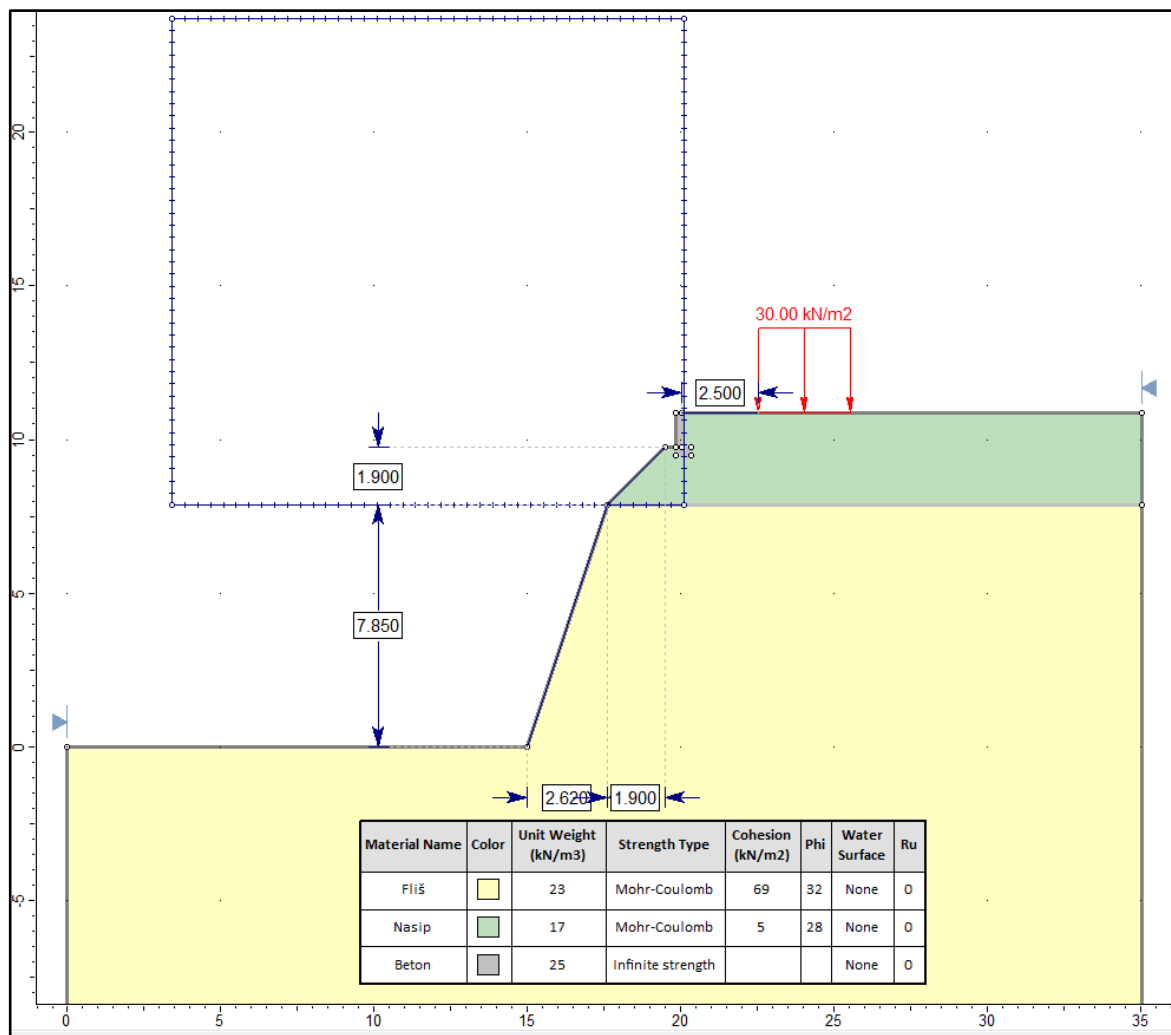
$KM$  – koeficijent modela koji je ovisan o vrsti tla (odabrana vrijednost  $KM=1,1$ )

$\gamma_{S;t}$  – parcijalni koeficijent otpora (za PP3  $\gamma_{S;t} = 1,0$ )

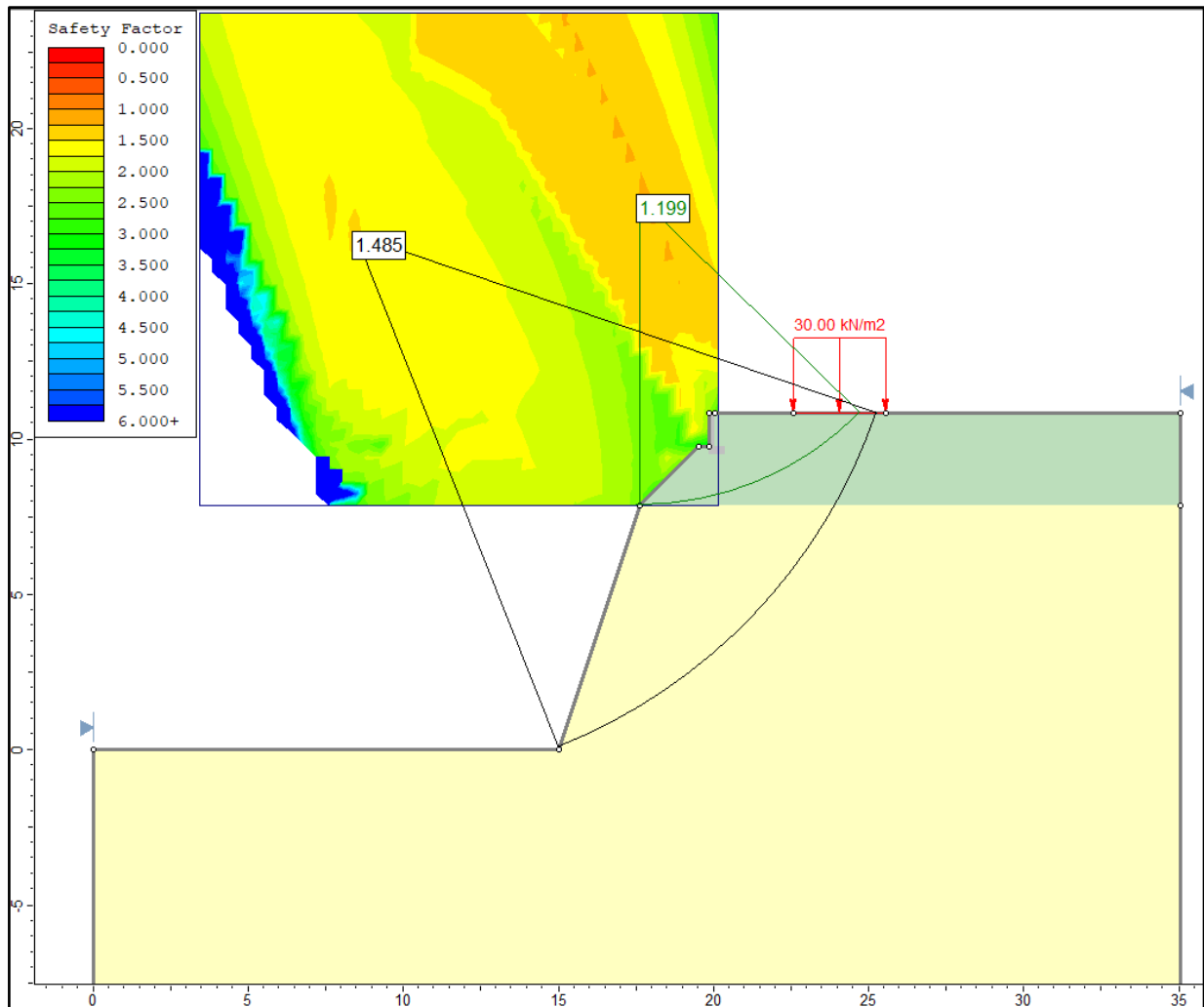
Osim loma po spoju sidrišnog tijela i tla/stijene potrebno je i provjeriti konstrukcijsku otpornost svih elemenata sidra za granično stanje nosivosti. Nosivost natege ovisi o vrsti materijala od koje je napravljena, a dobiva se od proizvođača ili na osnovi svojstava materijala. Za proračun se koristi granica popuštanja („yield load“), te se vrijednost prema HRN EN 1537:2013 naziva karakteristična otpornost natege. Za odabrano sidro R32-280 (R32N) granica popuštanja je 220 kN.

$$R_{t;d} = \frac{\text{granica popuštanja}}{1.15} = \frac{220}{1.15} = 191,30 \text{ kN}$$

### 5.5 Analiza stabilnosti – presjek 1-1



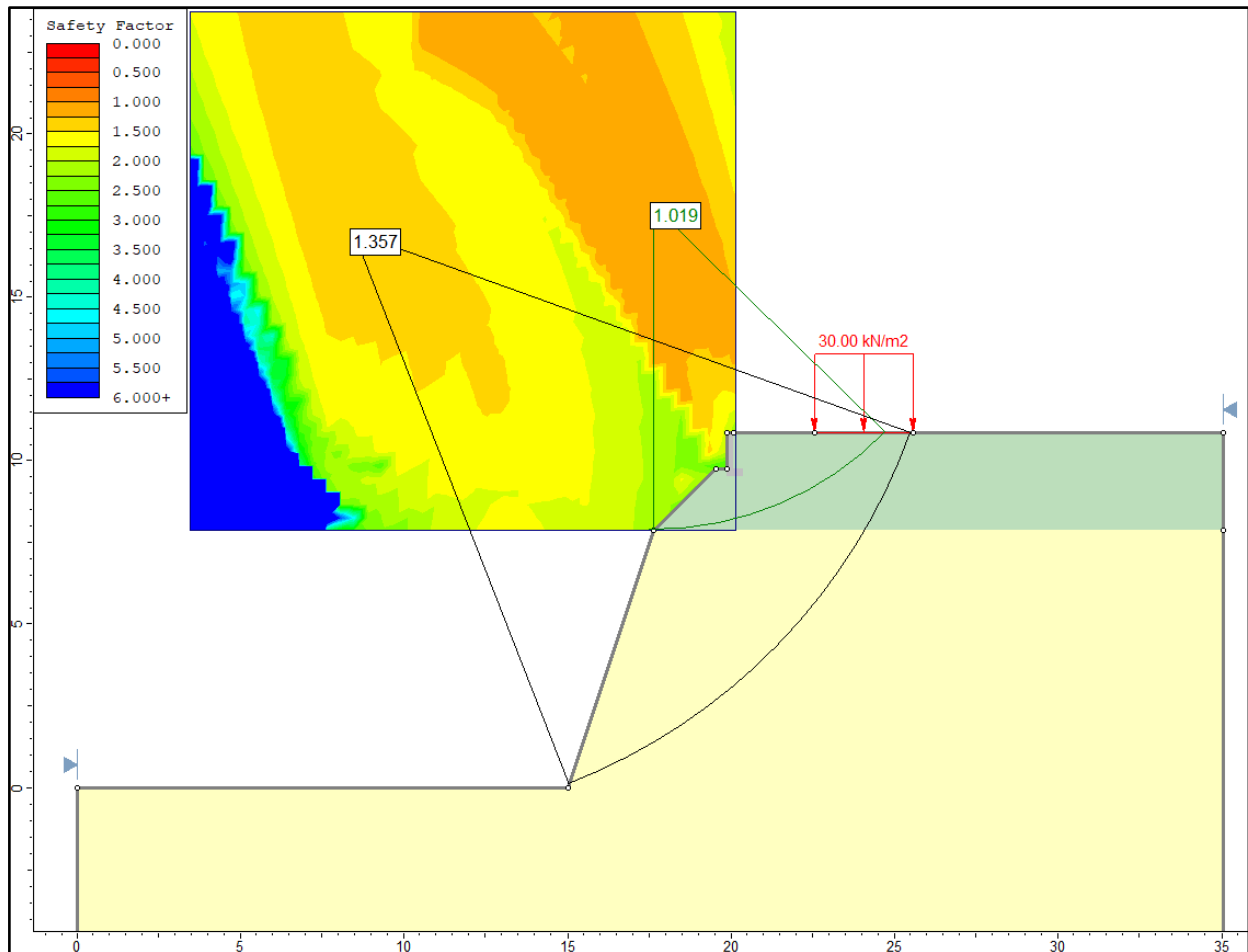
Slika 18. Prikaz svojstava tla i geometrije modela pokosa za presjek 1-1 (sjever)



Slika 19. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 1-1 (sjever)

U slučaju osnovne proračunske kombinacije za presjek 1-1 faktor sigurnosti zadovoljava ( $F_s > 1$ ).

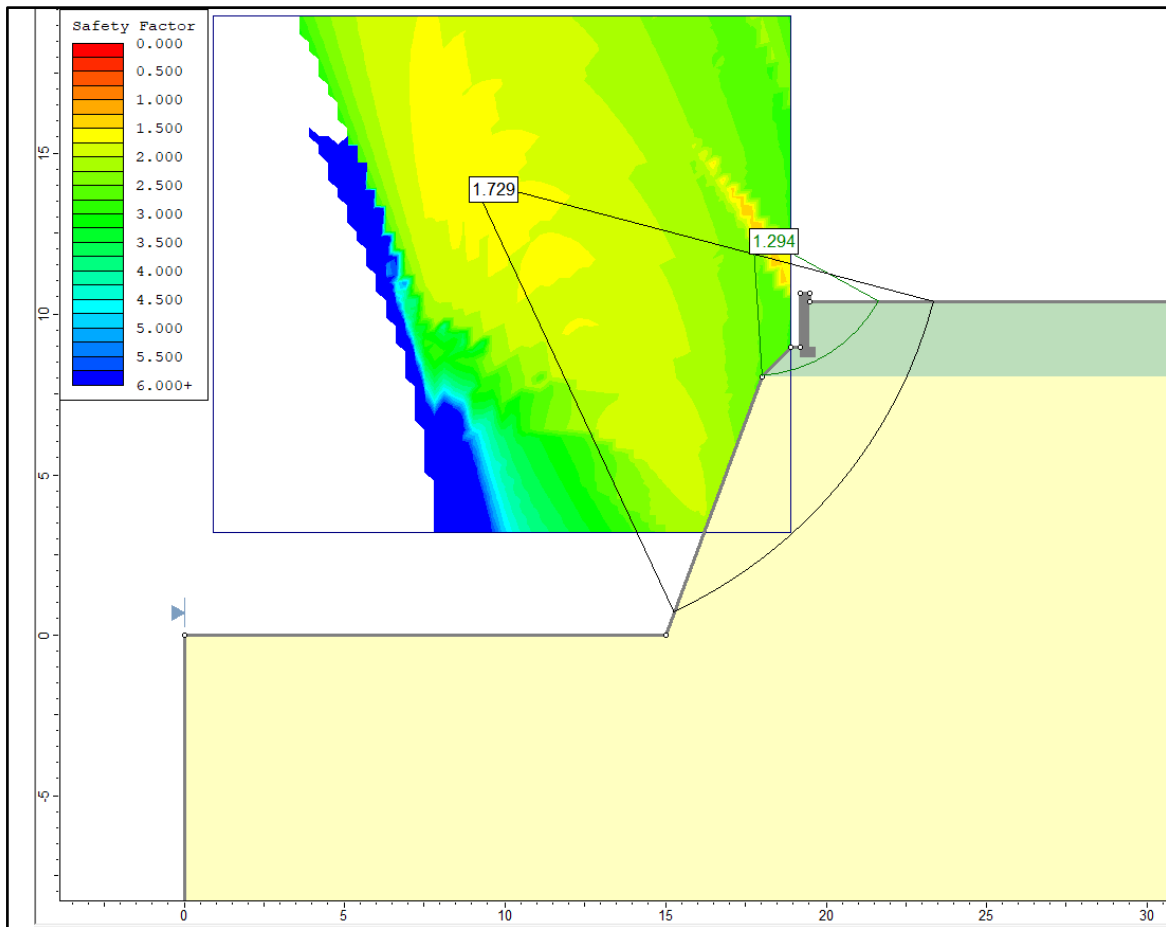




Slika 20. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 1-1 (sjever)

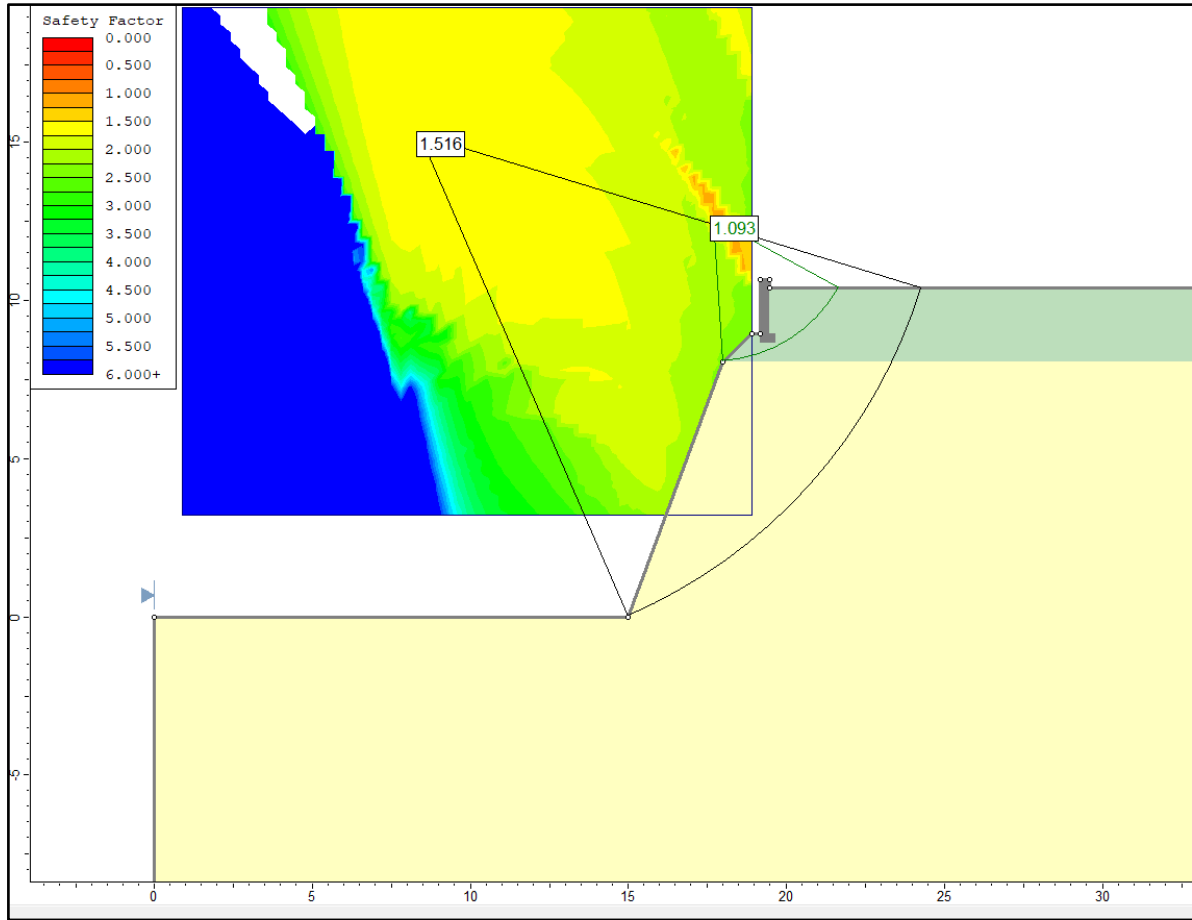
U slučaju potresne proračunske kombinacije faktor sigurnosti ( $F_s$ ) je veći od 1, te nije potrebna stabilizacija pokosa.





Slika 22. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (zapad)

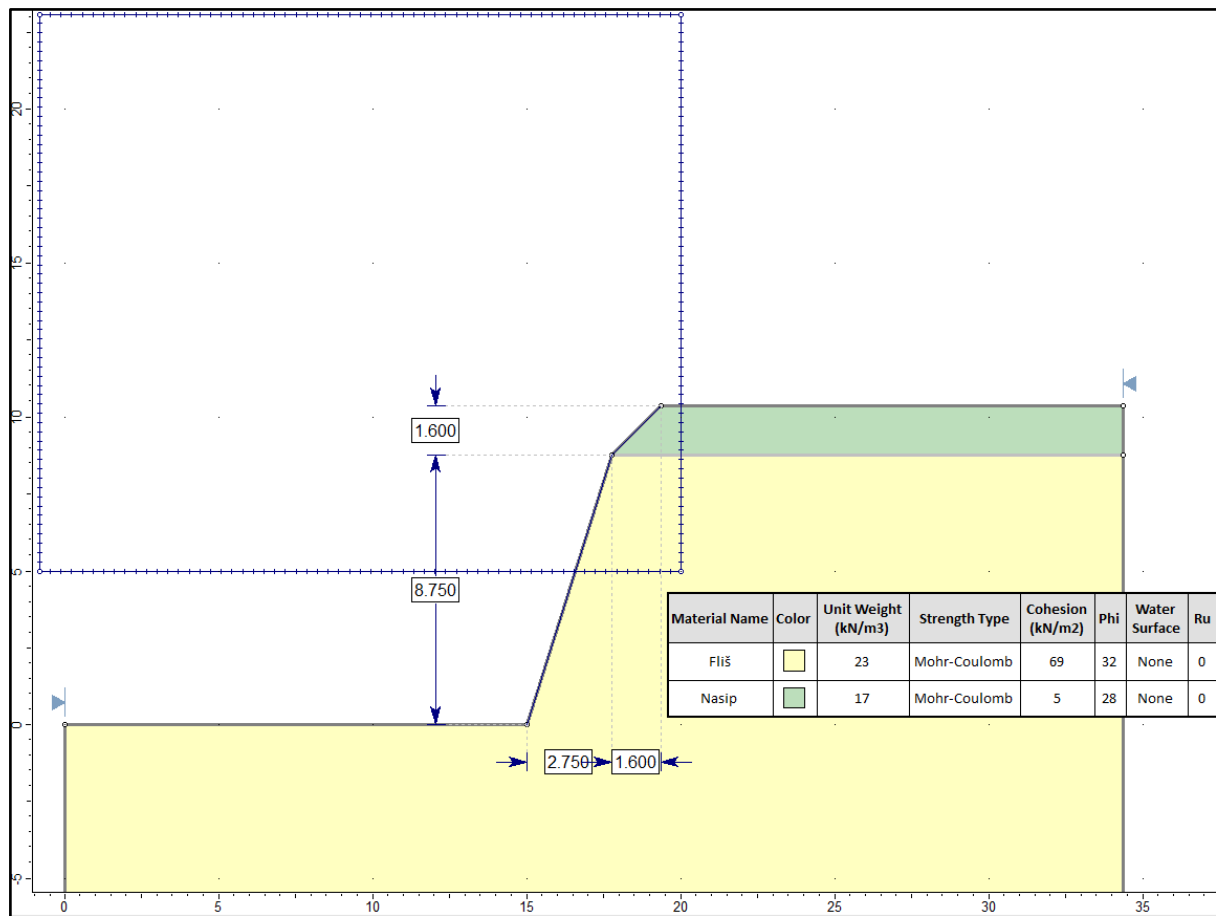
U slučaju osnovne proračunske kombinacije za presjek 2-2 (zapad) faktor sigurnosti zadovoljava ( $F_s > 1$ ).



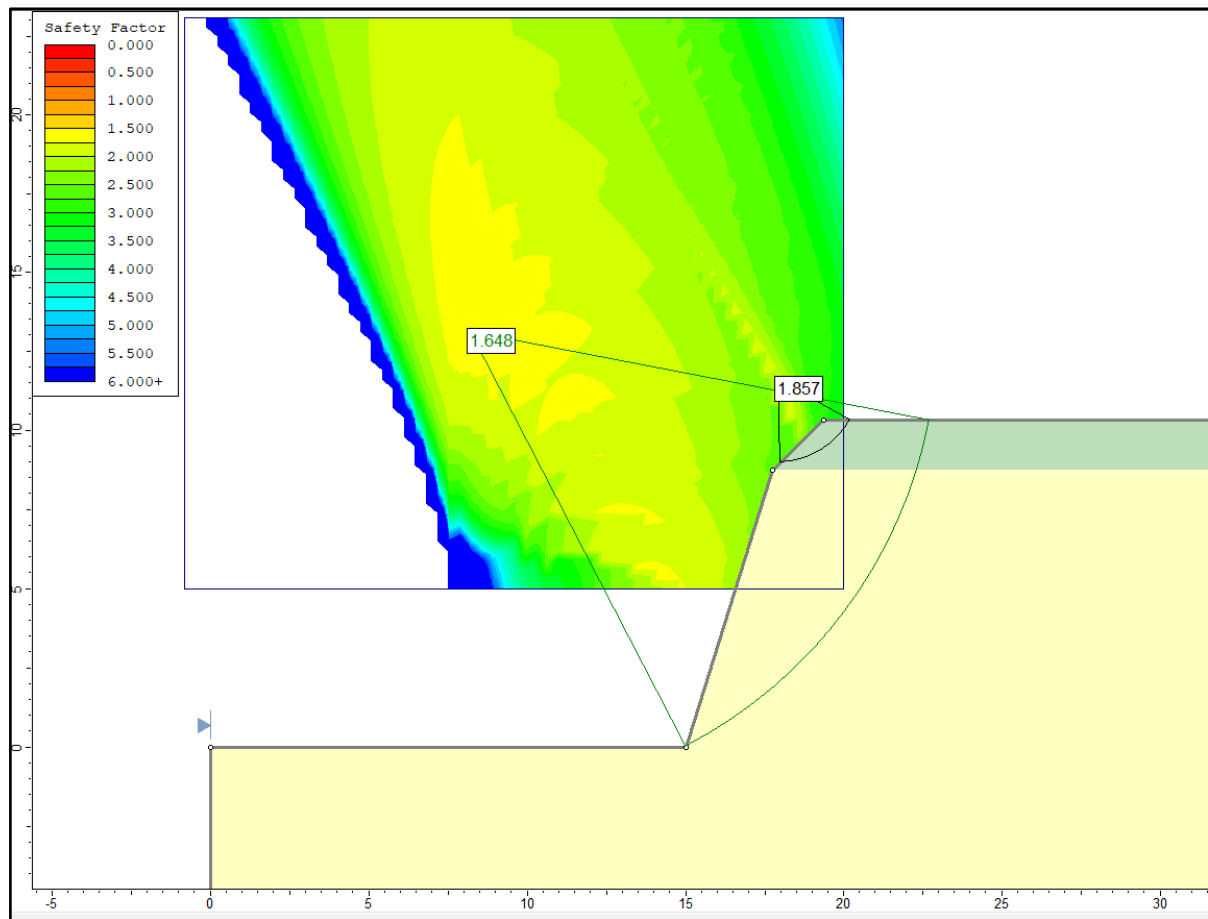
Slika 23. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (zapad)

U slučaju potresne proračunske kombinacije faktor sigurnosti za presjek 2-2 (zapad) zadovoljava faktor sigurnosti ( $F_s > 1$ ). Iako faktor sigurnosti je veći od jedan dodatno pojačanje se izvodi kako je opisano u tehničkom opisu u blizini stepeništa zbog nesigurnosti postojećeg stanja temelja zida i stubišta.

### 5.7 Analiza stabilnosti – presjek 2-2 (istok-prva varijanta)

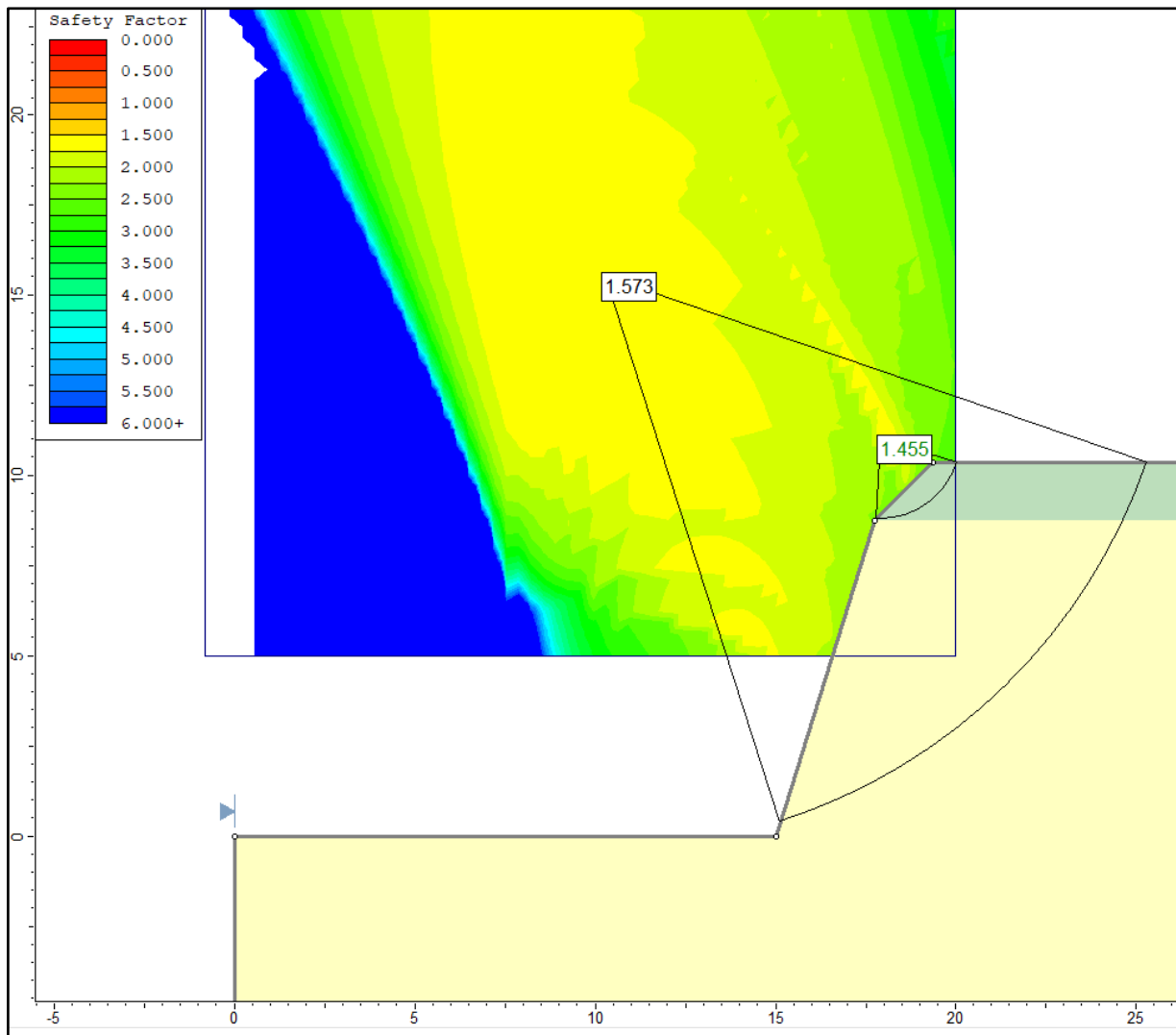


Slika 24. Prikaz svojstava tla i geometrije modela pokosa za presjek 2-2 (istok-prva varijanta)



Slika 25. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (istok-prva varijanta)

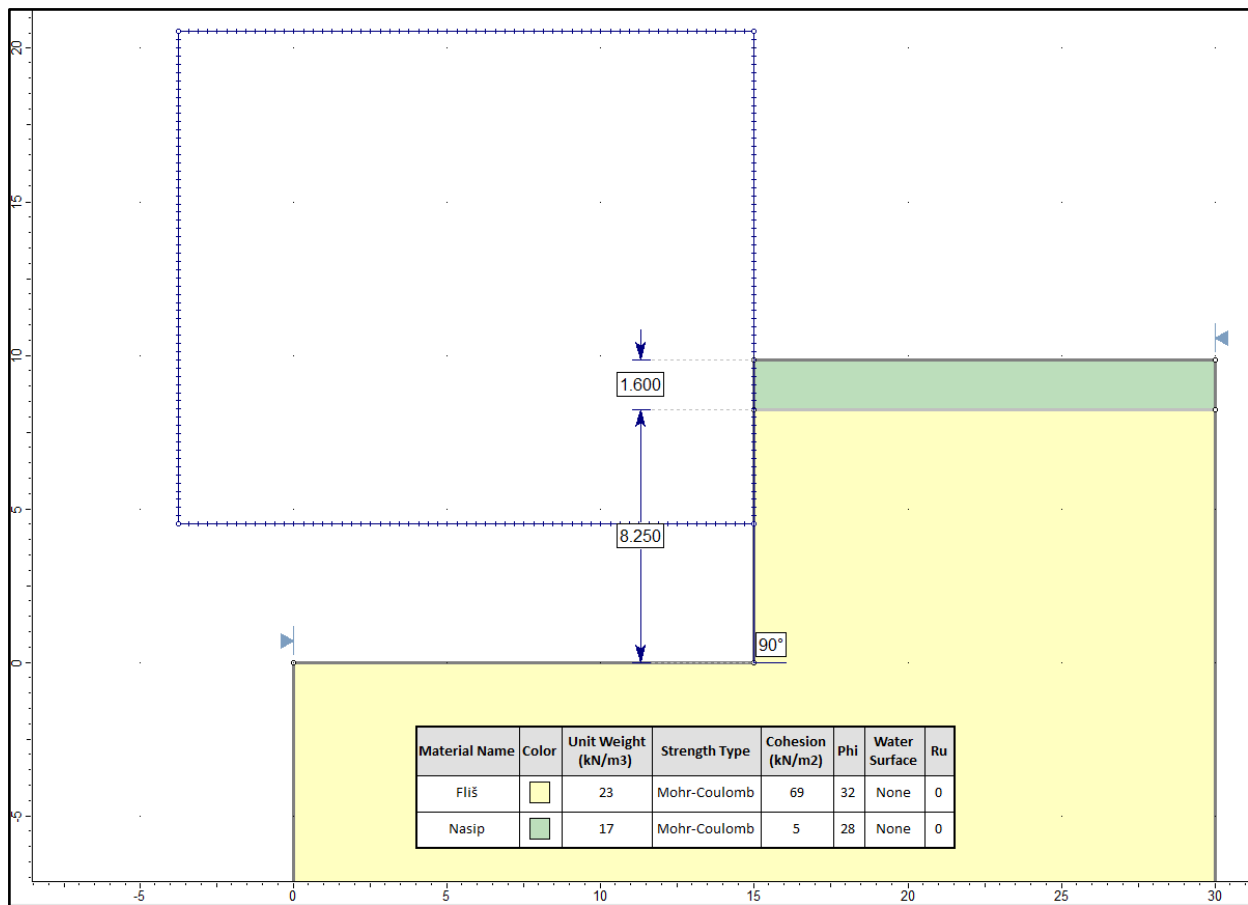
U slučaju osnovne proračunske kombinacije za prvu varijantu presjeka 2-2 (istok) faktor sigurnosti zadovoljava ( $F_s > 1$ ).



Slika 26. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju 2-2 (istok-prva varijanta)

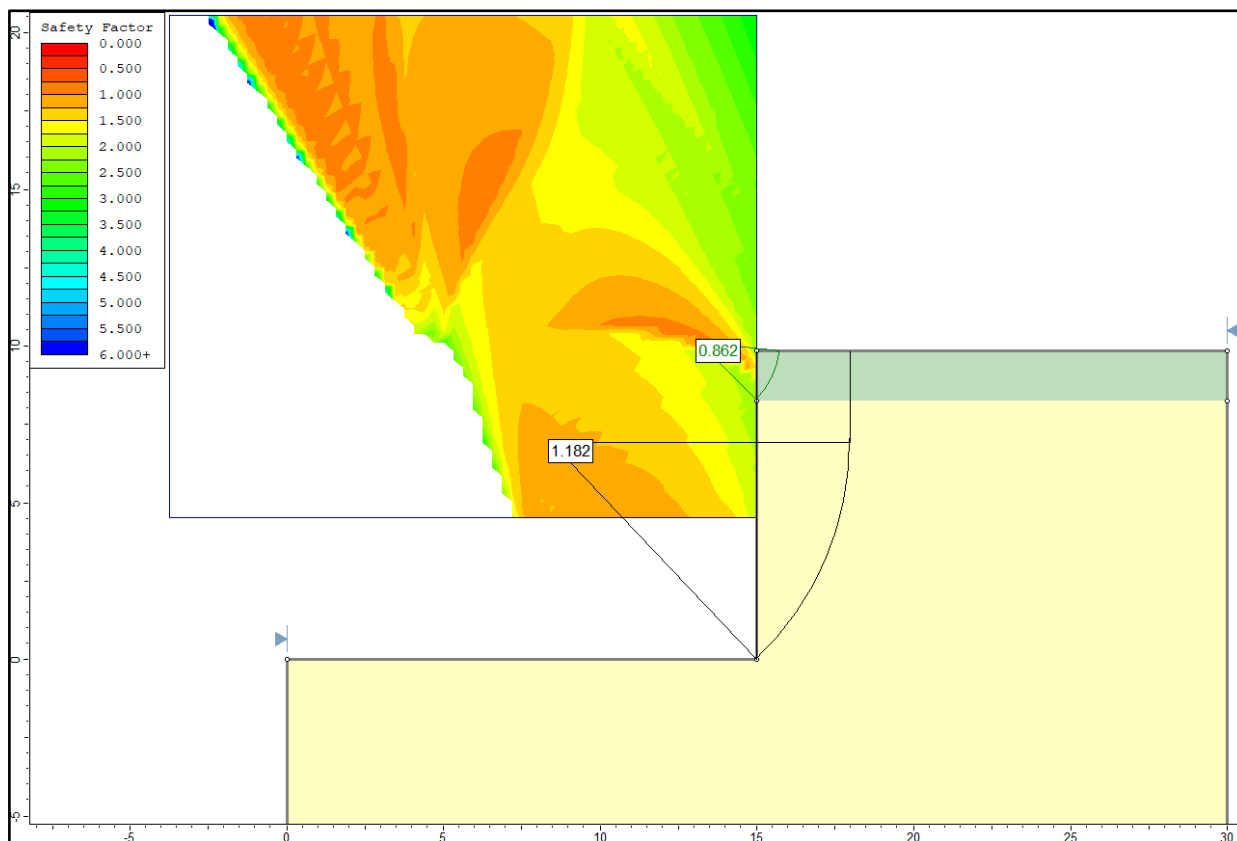
U slučaju potresne proračunske kombinacije za prvu varijantu presjeka 2-2 (istok) faktor sigurnosti zadovoljava ( $F_s > 1$ ).

### 5.8 Analiza stabilnosti – presjek 2-2 (istok-druga varijanta)



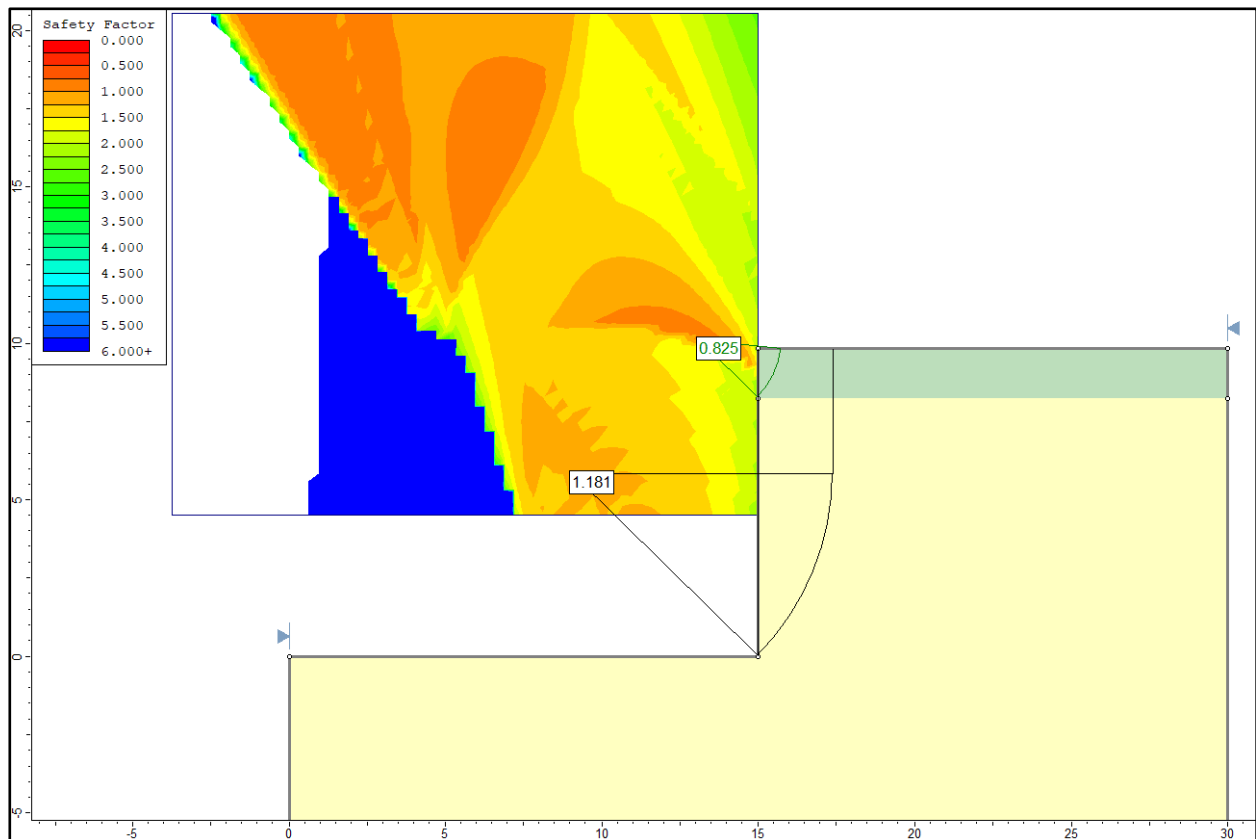
Slika 27. Prikaz svojstava tla i geometrije modela pokosa za presjek 2-2 (istok-druga varijanta)





Slika 28. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (istok-druga varijanta)

U slučaju osnovne proračunske kombinacije za drugu varijantu presjeka 2-2 (istok) faktor sigurnosti zadovoljava ( $F_s > 1$ ).



Slika 29. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (istok-druga varijanta)

U slučaju potresne proračunske kombinacije faktor sigurnosti za drugu varijantu presjeka 2-2 (istok) ne zadovoljava ( $F_s < 1$ ). Za stabilizaciju se koristi prskani mlazni beton debljine 10 cm koji se koristi u modelu uz iznos kohezije  $C=220$  kPa. Uz korištenje prskanog betona koriste se i sidra postavljena na razmaku od  $2 \times 1,5$  m. Duljina sidra je 7 m, te su postavljena pod kutem od  $7^\circ$  prema horizontali.

Nosivost na plaštu sidrišnog tijela u nasipu:

$$R_{S;k} = q_{S;k} \cdot (2r\pi) \cdot L_s$$

$$r = 0,18 \text{ m}$$

$$L_s = 6,6 \text{ m}$$

U slučaju koherentnog tla karakteristična jedinična otpornost se može odrediti kao:

$$q_{S;k} = c + \sigma_n \cdot \text{tg}\varphi$$

$$\sigma_n = 1,251 \cdot 17 = 21,27 \text{ kPa}$$

$$c_d = 4 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = 23^\circ$$

$$q_{S;k} = 4 + 21,27 \cdot \operatorname{tg} 23 = 13,03 \text{ kPa}$$

$$R_{S;k} = 13,03 \cdot (0,18 \cdot 3,14) \cdot 5,39 = 48,61 \text{ kN}$$

$$R_{S;d} = \frac{R_{S;k}}{\gamma_{S;t} \cdot KM} = \frac{48,41}{1 \cdot 1,1} = 44,19 \text{ kN}$$

Odabrano je sidro proizvođača DYWIDAG oznake DYWI R32 N. Promjer sidra je 22,8 mm, a promjer bušotine je 180 mm.

Nosivost na plaštu sidrišnog tijela u stijenskoj masi:

$$R_{S;k} = q_{S;k} \cdot (2r\pi)$$

$$r = 0,18 \text{ m}$$

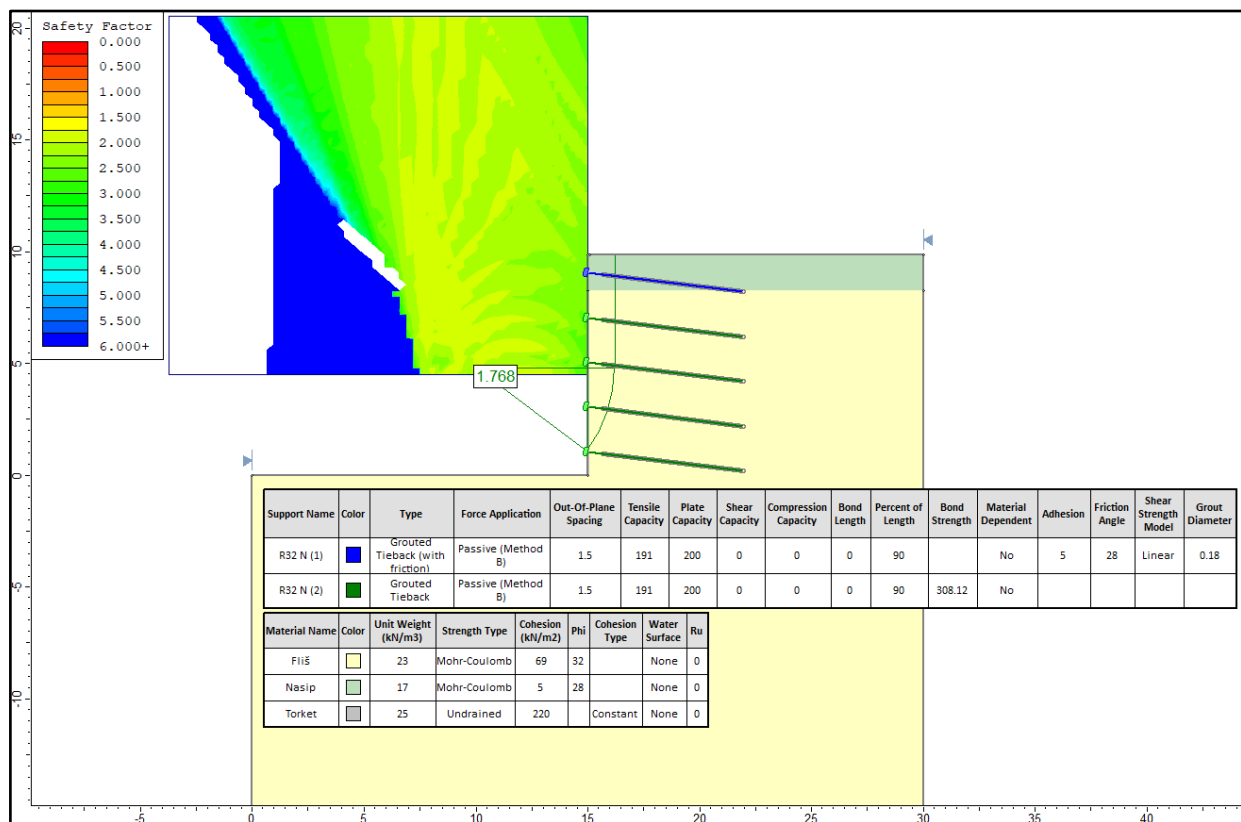
U slučaju stijene karakteristična jedinična otpornost se uzima iz iskustvenih tablica:

$$q_{S;k} = 0,6 \frac{N}{\text{mm}^2} = 600 \text{ kPa}$$

$$R_{S;k} = 600 \cdot (0,18 \cdot 3,14) = 339,12 \text{ kN/m}$$

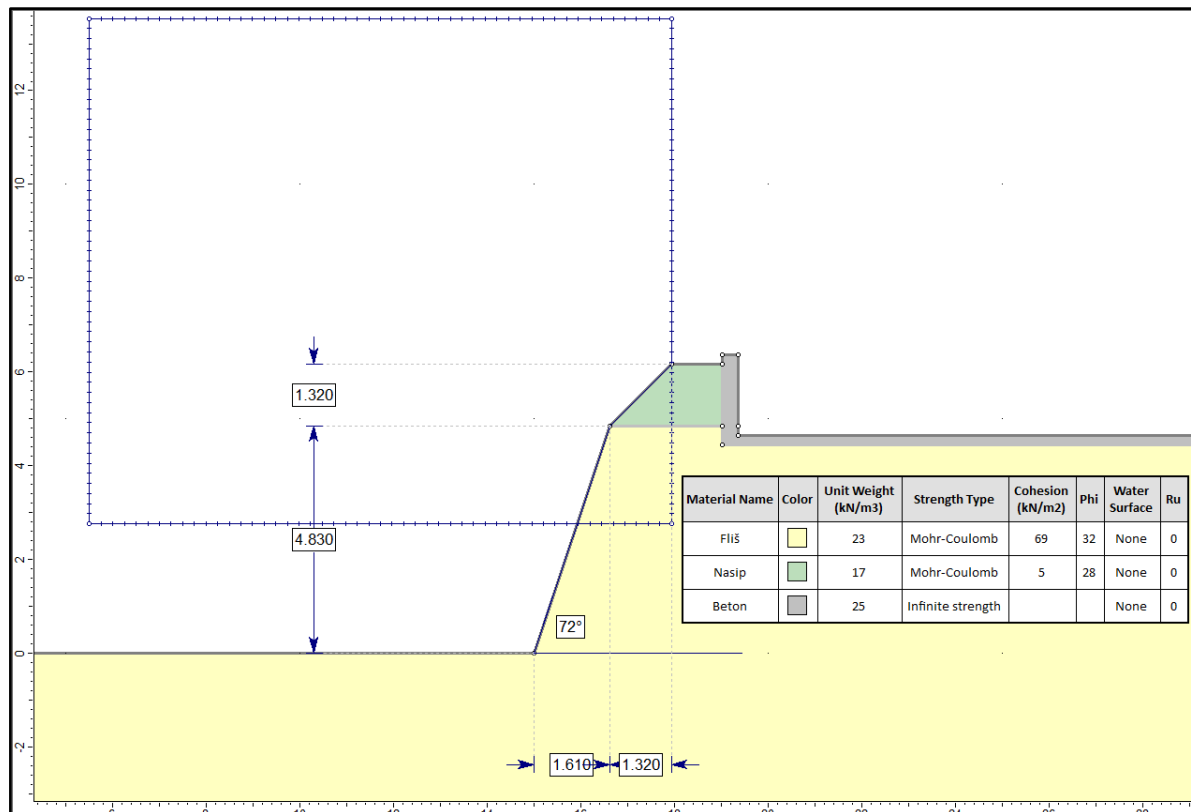
$$R_{S;d} = \frac{R_{S;k}}{\gamma_{S;t} \cdot KM} = \frac{339,12}{1 \cdot 1,1} = 308,29 \text{ kN/m}$$

Odabrano je sidro proizvođača DYWIDAG oznake DYWI R32 N. Promjer sidra je 22,8 mm, a promjer bušotine je 180 mm.

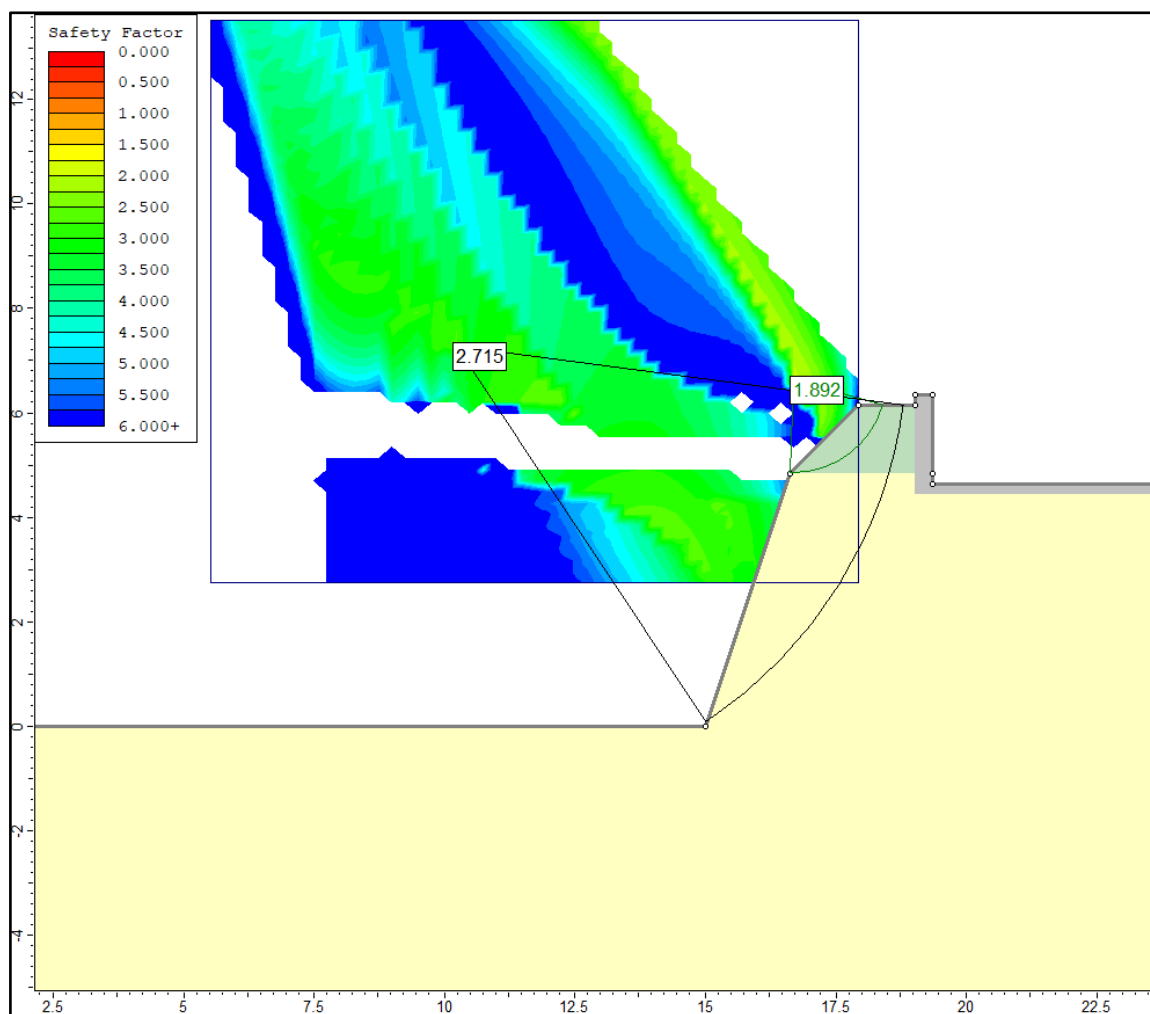


Slika 30. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (istok-druga varijanta) uz stabilizaciju pokosa

### 5.9 Analiza stabilnosti – presjek 3-3 (zapad)

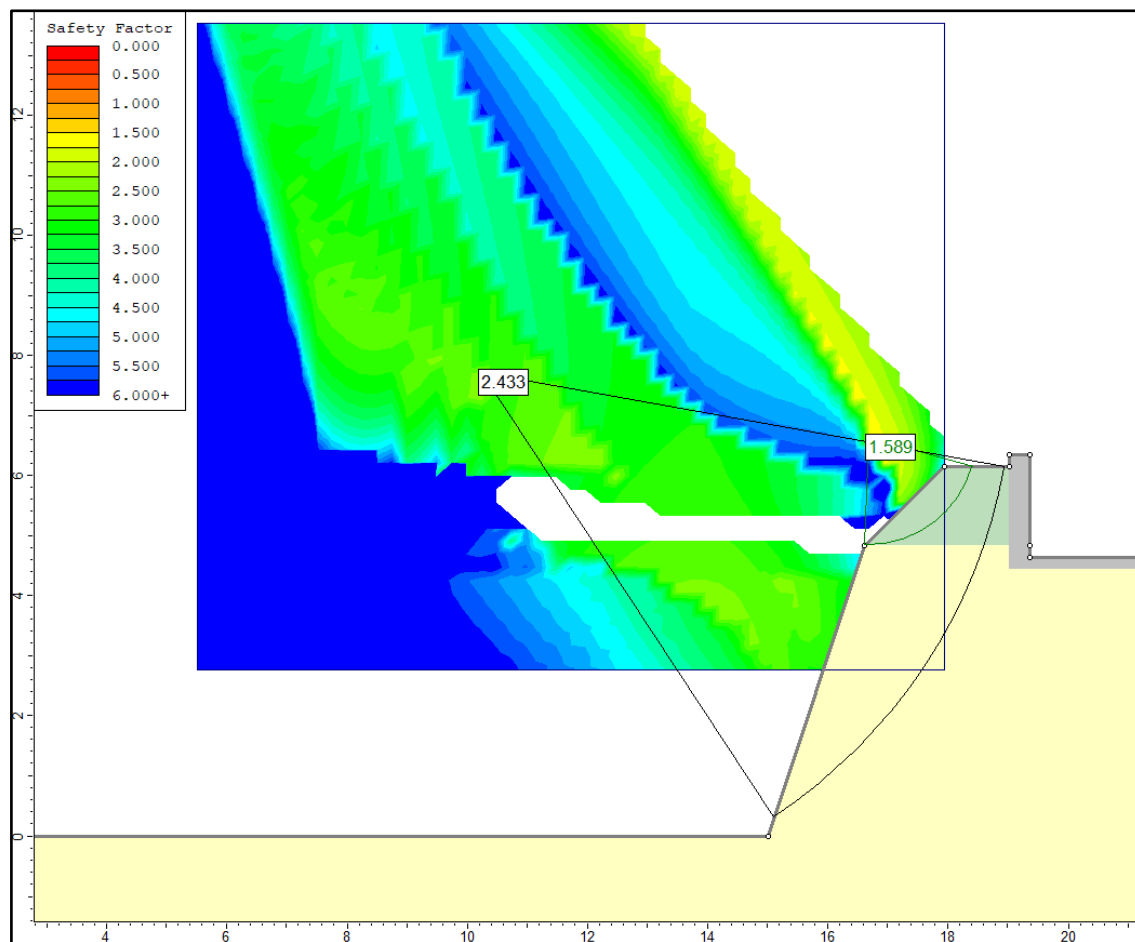


Slika 31. Prikaz svojstava tla i geometrije modela pokosa za presjek 3-3 (zapad)



Slika 32. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 3-3 (zapad)

U slučaju osnovne proračunske kombinacije presjek 3-3 (zapad) ima faktor sigurnosti koji zadovoljava ( $F_s > 1$ ).



Slika 33. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 3-3 (zapad)

U slučaju potresne proračunske kombinacije presjek 3-3 (zapad) ima faktor sigurnosti koji zadovoljava ( $F_s > 1$ ).

## 6. ZAKLJUČAK

Za zadane ulazne podatke napravljene su dvije verzije građevne jame koje se razlikuju u rješenju istočnog dijela jame. U prvoj verziji pokosi građevne jame su napravljeni u stabilnom nagibu ovisno o tipu tla, osim manjeg dijela sjeveroistočnog dijela pokosa. Sjeveroistočni dio se prema analizi stabilnosti može izvesti u stabilnom pokosu, ali zbog nesigurnosti i nepoznavanja podataka o točnoj izvedbi susjedne građevine i lošem stanju stepeništa, te nepoznavanja dubine temeljenja istog stepeništa, odlučeno je napraviti zaštitu pokosa kombinacijom mlaznog betona i štapnih sidara. Ovakav pristup korištenjem stabilnih nagiba daje najmanje troškove izgradnje i zaštite građevne jame, ukoliko su ispunjeni uvjeti neograničenog prostora.

U drugoj alternativnoj verziji istočnog dijela jame pretpostavlja se da nije dopušten zahvat na susjednu parcelu, već je potrebno građevnu jamu izvesti vertikalno da bih se taj uvjet ispunio. Ovaj način zahtjeva dodatne troškove u vidu mlaznog betona i sidara. Faktori sigurnosti za pojedine strane pokosa i proračunske kombinacije građevne jame su dane u tablici 14.

Tablica 14. Vrijednosti faktora sigurnosti za različite strane pokosa građevne jame

	$F_S$ za osnovnu kombinaciju	$F_S$ za potresnu kombinaciju	$F_S$ nakon stabilizacije
1-1 (sjever)	1,199	1,019	-
2-2 (istok)	1,294	1,093	-
2-2 (zapad 1. varijanta)	1,857	1,455	-
2-2 (zapad 2. varijanta)	0,862	0,825	1,768
3-3 (istok)	1,892	1,589	-

Istočni dio jame je moguće izvesti na niz načina osim kombinacije mlaznog betona i sidara. Jedan od mogućih načina je pomoću mikropilota povezanih pomoću naglavnih greda. Odluka korištenja pojedinih načina zaštite osim uvjeta prostora i podzemne vode može biti i uvjetovana dostupnom tehnologijom izrade na nekom području, koje može utjecati bitno na cijenu izrade.

## 7. TROŠKOVNIK RADOVA

Redni broj	Opis radova	Jedinica mjere	Količina	Jedninična cijena (kn)	Iznos (kn)
<b>1.</b>	<b>Pripremni radovi</b>				
1.1	Rušenje postojećih objekata na mjestu izvođenja radova, prvi objekt ima tlocrtnu površinu 140 m <sup>2</sup> , s visinom 4 m mjereno od kote okolnog terena. Drugi objekt je površine cca 36 m <sup>2</sup> .	Paušalno			
1.2.	Izmještanje vodovodne cijevi na sjevernom rubu lokacije uz prometnicu za vrijeme izvođenja radova. Cijev je potrebno vratiti u prvobitno stanje nakon izgradnje objekta.	m'	30		
1.3.	Rezanje postojećeg betonskog stubišta na sjeverozapadu lokacije u potrebnoj širini (naznačeno na situaciji), i pilanje potpornog zida na južnoj strani.	Paušalno			
<b>Ukupno:</b>					



2.	Široki iskop				
2.1	Iskop u nasipnom materijalu - Kategorija A Iskop se izvodi odgovarajućim strojevima i mehanizacijom, uzimajući u obzir projektom propisane nagibe i visinske kote. U cijenu je uključen utovar i transport materijala na udaljenost do 10 km. U obračun nisu uzeti materijali koji su naknadno nasuti na površinu lokacije.	m <sup>3</sup>	1940		
2.2.	Iskop u nasipnom materijalu - Kategorija B Iskop se izvodi odgovarajućim strojevima i mehanizacijom, uzimajući u obzir projektom propisane nagibe i visinske kote. U cijenu je uključen utovar i transport materijala na udaljenost do 10 km. Prema istražnim radovima obujam ovog iskopa je cca 70 % ukupnog iskopa u flišu.	m <sup>3</sup>	3585		
2.3.	Iskop u nasipnom materijalu - Kategorija C Iskop se izvodi odgovarajućim strojevima i mehanizacijom, uzimajući u obzir projektom propisane nagibe i visinske kote. U cijenu je uključen utovar i transport materijala na udaljenost do 10 km. Prema istražnim radovima obujam ovog iskopa je cca 30 % ukupnog iskopa u flišu.	m <sup>3</sup>	1537		
<b>Ukupno:</b>					

Redni broj	Opis radova	Jedinica mjere	Količina	Jedninična cijena (kn)	Iznos (kn)
<b>3.</b>	<b>Zaštita pokosa usjeka</b>				
3.1	Dobava, izrada i ugradnja konstruktivnih štapnih sidara B500B od rebraste armature promjera $\varnothing 28$ mm, na poziciji predviđenoj projektom ili prema uputi nadzornog inženjera. Injekcijska smjesa razreda čvrstoće C 30/37. Minimalni promjer bušotine od 54 mm, a ugradnja pod kutem od 14 stupnjeva od horizontale, dužine su 1,5 m. Navrtka i podložna pločica uračunate u cijenu.	kom	135		
3.2.	Zaštita zasjeka prskanim betonom, razreda čvrstoće C 30/37 i debljine 10 cm ( 2 sloja debljine 5+5 cm). Prskani beton je armiran mrežama Q-196, u cijenu je uračunata cijena mreža s preklopom. Obračun po m <sup>2</sup> prskanog betona, prema stvarno izvedenim radovima.	m <sup>2</sup>	330		
3.3.	Zaštita zasjeka metalnim mrežama najvećeg otvora 5 cm i plastičnom folijom. U cijenu je uključena nabava i ugradnja mreže sa svim priručnim materijalima. Obračun po m <sup>2</sup> dvostruko pletene mreže, prema stvarno izvedenim radovima.	m <sup>2</sup>	516		
3.4.	Dobava, izrada i ugradnja samobušućih sidra proizvođača DYWIDAG oznake DYWI R32 N $\varnothing 22.8$ mm, na poziciji predviđenoj projektom ili prema uputi nadzornog inženjera. Injekcijska smjesa razreda čvrstoće C 30/37. Minimalni promjer bušotine od 180 mm, a ugradnja pod kutem od 7 stupnjeva od horizontale, dužine su 7 m. Navrtka i podložna pločica uračunate u cijenu.	kom	76		
3.5.	Postavljanje repera i geodetsko praćenje pomaka zasjeka na 4 presjeka.	paušalno			
<b>Ukupno:</b>					

## **8.GRAFIČKI PRILOZI**

**8.1 Situacija s naznačenim istražnim radovima i presjecima**

**8.2 Geotehnički profil 1-1**

**8.3 Geotehnički profil 2-2**

**8.4 Tlocrt građevne jame (1.varijanta)**

**8.5 Presjek 1-1 (1. varijanta)**

**8.6 Presjek 2-2 (1. varijanta)**

**8.7 Presjek 3-3 (1. varijanta)**

**8.8 Tlocrt građevne jame (2. varijanta)**

**8.9 Presjek 1-1 (2. varijanta)**

**8.10 Presjek 2-2 (2. varijanta)**

**8.11 Presjek 3-3 (2. varijanta)**

## LITERATURA

- [1] Roje Bonacci, T. (2005.): Potporne građevine i građevne jame. Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije.
- [2] Roje Bonacci, T. (2012.): Zemljani radovi. Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije.
- [3] Vlastelica G., Mišćević P., Pavić N., (2016): Mjerenje posmične čvrstoće meke stijene u uvjetima laboratorijski stimulirane rastrošbe, *Građevinar* 68/12, 955-965.
- [4] Toševski A., Grgec D., Padovan D. (2012): Osnovno o genezi, sastavu i trošenju eoceanskog fliša hrvatskog obalnog područja. *Rudarsko-geološki-naftni zbornik*. Vol. 25 str. 47-50
- [5] Fuček, L., Matičec, D., Vlahović, I., Oštrić, N., Prtoljan, B., Korbar, T. & Husinec, A (2012): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske M 1:50 000: list Cres 2, (417/2).-Hrvatski geološki institut (Zavod za geologiju), 1 list, Zagreb, ISBN: 978-953-6907-26-7
- [6] Mišćević, P., Vlastelica, G. (svibanj 2018.) Izvještaj o geotehničkim istražnim radovima za potrebe temeljenja objekta na predjelu Trstenik-Radoševac. Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije.
- [7] Mišćević P., Vlastelica, G. (2011): Durability Characterization of marls from the region of Dalmatia, Croatia. *Geotechnical and Geological Engineering* 29(5): 771-781
- [8] Ogawa T., Adachi T., Hayashi M., (1985.): Mechanical Properties of Soft Rock and Rock Mass, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (Stockholm)
- [9] Mišćević, P. (2015.): Inženjerska mehanika stijena. Split: Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije.
- [10] Hoek, E., Carranza-Torres, C.T. Corkum, B. (2002 edition). Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. In: *Proceedings of the Fifth North American Rock Mechanics Symposium*, Toronto, Canada (2002) vol. 1, p. 267-73.
- [11] WEB: Karta potresnih područja Hrvatske, [www.seizkarta.gfz.hr](http://www.seizkarta.gfz.hr).
- [12] Nonveiller, E. (1979.) *Mehanika tla i temeljenje građevina*. Školska knjiga, Zagreb
- [13] Havranek, A. (1999.) Děčín – Most přes ploučnici v Litoměřické ul. *Zakládání* 3/1999, ročník XI, Časopis Zakládání staveb, a.s., Praha
- [14] Mišćević P., Vlastelica G. (2012): Stabilnost u vremenu kosine iskopane u laporu, *Građevinar*, 64/6, 451-461.
- [15] Vlastelica G., (2015): Utjecaj rastrošbe na trajnost zasjeka u mekoj stijeni, *Doktorski rad*, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije.

## POPIS KORIŠTENIH NORMI

DIN 4124. (2012) Excavations and trenches - Slopes, planking and strutting breadths of working spaces

HRN U.B1.026:1968 Određivanje sadržaja karbonata

EN 12407:2007 Metode ispitivanja prirodnoga kamena – Petrografsko ispitivanje

HRN EN 14487-1:2005 Mlazni beton – 1.dio: Definicije, specifikacije i sukladnost.

HRN EN 14487-2:2007 Mlazni beton – 2.dio: Izvedba.

HRN EN 14488-2:2007 Mlazni beton – Ispitivanje mlaznog betona – 2.dio: Čvrstoća.

HRN EN 14488-6:2007 Mlazni beton – Ispitivanje mlaznog betona – 6.dio: Debljina mlaznog betona na podlozi.

HRN EN ISO 15630-2:2019 Metode ispitivanja – 2. dio: Zavarene mreže i rešetkasti nosači

HRN EN 447:2008 Smjesa za injektiranje natega za prednapinjanje – Osnovni zahtjevi

HRN EN 446:2008 Smjesa za injektiranje natega za prednapinjanje – Postupci injektiranja

HRN EN 445:2008 Smjesa za injektiranje natega za prednapinjanje – Metode ispitivanja

HRN EN 1997-1:2012/NA Eurokod 7: Geotehničko projektiranje – 1. dio: Opća pravila – Nacionalni dodatak

HRN EN 1998-1:2012/NA:2011 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade

HRN EN 1537:2013 Izvedba posebnih geotehničkih radova – Sidra u tlu i stijeni

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Građevna jama zaštićena usidrenom dijafragmom [12]
- Slika 2. Kutevi nagiba pokosa za dvije vrste različitog tla. [2]
- Slika 3. Dijagram za određivanje nagiba kosine pomoću broja stabilnosti [2]
- Slika 4. Kosine promjenjivih nagiba kroz različita tla i homogena kosina promjenjivog nagiba [1]
- Slika 5. Korištenje berme kod iskopa većih visina [1]
- Slika 6. Zaštita iskopa građevne jame čeličnim žmurjem [1]
- Slika 7. Armiranobetonska dijafragma s veznom gredom i sidrima [1]
- Slika 8. Otkopana stijenska izvedena metodom pilot do pilota s gredama i sidrima [1]
- Slika 9. Stijenska mlaznoinjektiranih stupnjaka pojačana sidrima [13]
- Slika 10. Načini zaštite od vanjske oborinske vode [1]
- Slika 11. Prikaz zaštite građevne jame od vlastite oborinske vode [1]
- Slika 12. Osnovna geološka karta hrvatske za šire područje Splita [5]
- Slika 13. Prikaz objekta na karti Splita i prikaz katastarskih čestica
- Slika 14. Prikaz rješenja zaštite od oborinskih voda
- Slika 15. Mehanizmi loma u stijenskoj masi za: a) lom po zakrivljenoj plohi ; b) Lom određen položajem diskontinuiteta [9]
- Slika 16. Rezultati proračuna parametara stijenske mase u RocLabu ( $\sigma$ - $\tau$  dijagram)
- Slika 17. Karta potresnih područja Hrvatske i uvećani prikaz za lokaciju objekta [11]
- Slika 18. Prikaz svojstava tla i geometrije modela pokosa za presjek 1-1 (sjever)
- Slika 19. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 1-1 (sjever)
- Slika 20. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 1-1 (sjever)
- Slika 21. Prikaz svojstava tla i geometrije modela pokosa za presjek 2-2 (zapad)
- Slika 22. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (zapad)
- Slika 23. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (zapad)
- Slika 24. Prikaz svojstava tla i geometrije modela pokosa za presjek 2-2 (istok-prva varijanta)
- Slika 25. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (istok-prva varijanta)
- Slika 26. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju 2-2 (istok-prva varijanta)
- Slika 27. Prikaz svojstava tla i geometrije modela pokosa za presjek 2-2 (istok-druga varijanta)
- Slika 28. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (istok-druga varijanta)

Slika 29. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (istok-druga varijanta)

Slika 30. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 2-2 (istok-druga varijanta) uz stabilizaciju pokosa

Slika 31. Prikaz svojstava tla i geometrije modela pokosa za presjek 3-3 (zapad)

Slika 32. Prikaz rezultata za osnovnu proračunsku kombinaciju za presjek 3-3 (zapad)

Slika 33. Prikaz rezultata za potresnu proračunsku kombinaciju za presjek 3-3 (zapad)

## **Popis Tablica**

Tablica 1. Uvjeti rada i metode izvođenja građevnih jama

Tablica 2. Kutevi nagiba pokosa prema DIN 4124

Tablica 3. Razradba karbonatnih stijena prema EN 12407:2007 [3]

Tablica 4. Orijentacijske veličine nagiba za razne materijale (Joksić,1984)

Tablica 5. Prikaz karakteristika odabranog sidra

Tablica 6. Prikaz vrijednosti parcijalnih koeficijenata za PP3

Tablica 7. Prikaz vrijednosti paramera  $m_i$

Tablica 8. Prikaz bodovanja za RMR

Tablica 9. Prikaz ulaznih podataka i rezultata aproksimacije

Tablica 10. Podjelu tla prema HRN EN 1997-1:2012/NA:2011

Tablica 11. Parametar tla S za elastični spektar Tipa 1

Tablica 12. Prikaz karakterističnih i projektnih vrijednosti parametara

Tablica 13. Iskustvene vrijednosti jedinične otpornosti [9]

Tablica 14. Vrijednosti faktora sigurnosti za različite strane pokosa građevne jame